

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Jarot, Sigit, dan Toto, et al (2011) telah melakukan penelitian tentang pengaruh *Friction Stir Welding* / FSW pada paduan Aluminium Seri 6061 dan 2024. Peneliti ini melakukan Proses pengelasan menggunakan kecepatan putar mesin 1500 rpm dengan variabel *feed rate*; 50 mm/menit, 100 mm/menit dan 150 mm/menit. Penggunaan tool menggunakan baja EMS 45 dengan panjang 100 mm, dimensi pin panjang 3 mm, diameter bawah 3 mm, dan diameter shoulder 20 mm. Hasil yang didapatkan Terjadi penurunan nilai kekerasan pada daerah pengelasan (*stirred welding*), terhadap material induknya, Nilai kekerasan *raw material* Al 6061 adalah ± 105 VHN dan 2024 adalah 316 VHN dan pada pusat las (*stirred welding*) yaitu ± 99 VHN. Diantara variabel yang telah diteliti, nilai tegangan tarik yang tertinggi adalah pada variable 50 mm/menit pada putaran 1500 rpm (109,4 kg/mm²). Struktur mikro pada area pengelasan dan material induk pada dasarnya tidak mengalami perubahan, tetapi pada bagian TMAZ butir mengalami distorsi sehingga nampak seperti onion ring. Dan masih ada terjadinya void.

Sahu, et al (2015) telah melakukan eksperimen tentang pengaruh geometri pin terhadap hasil penyambungan plat paduan aluminium (AA4047) tebal 6 mm dan plat paduan tembaga (C89833) tebal 3 mm metode pengelasan FSW sambungan tumpang. Eksperimen tersebut menggunakan mesin dengan putaran spindel 1100rpm dan kecepatan pengelasan 35 mm/min. Tool yang digunakan berasal dari material *mild steel* dengan diameter *shoulder* 24 mm, diameter pin $1/3 - 1/4$ kali diameter shoulder, dan panjang pin 6 mm. Terdapat 5 variasi bentuk geometri tool, yaitu : silinder, persegi, kerucut, silinder berulir, dan segi tiga. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa geometri tool terbaik berbentuk kerucut yang menghasilkan kekuatan tarik hasil pengelasan sebesar 121,19 MPa.

Supriyadi, et al (2015) yang melakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan pengelasan terhadap sifat mekanik sambungan las *Friction Stir Welding* logam tak sejenis antara baja karbon ST-37 dan aluminium AA1001 dengan pin *silindris* dan *preheat*. Dalam penelitian ini dilakukan proses *preheat* sebelum melakukan proses pengelasan *Friction Stir Welding* pada baja karbon ST-37 yang bertujuan menaikkan

temperatur baja karbon ST-37 sebelum proses pengelasan. Pada penelitian ini digunakan beberapa parameter yaitu kecepatan putar *spindle* 630 rpm, *tool offset* 1.5 mm, *preheat offset* 20mm, kecepatan pengelasan bervariasi yaitu 25 mm/menit, 32 mm/menit, dan 40 mm/menit dengan kedalaman pembenaman *tool* 2,95 mm. Dengan hasil kekuatan tarik tertinggi (108.96 MPa) pada *federate* 25 mm/menit, kekuatan *face bending* tertinggi (205.79 MPa) pada *feed rate* 32 mm/menit, kekuatan *root bending* tertinggi (253.51 MPa) pada *feed rate* 25 mm/menit. Pada daerah *nugget* pada *retreating side* mempunyai kekerasan yang bervariasi akibat inklusi baja karbon yang berdampak menimbulkan partikel *intermetallic* FE_xAl_y , sedangkan struktur mikro pada daerah HAZ mengalami *grain growth* akibat panas pengelasan yang diterima dan pada *nugget* menunjukkan struktur mikro yang lebih kecil dan rapat.

Muthu, et al (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan pengelasan terhadap mikrostruktur hasil penyambungan paduan aluminium (AA1100-H14) tebal 6 mm dan tembaga murni tebal 6mm dengan metode pengelasan FSW sambungan tumpul. Putaran spindel yang digunakan sebesar 1072 rpm, dan kecepatan pengelasan divariasikan antara 50 mm/menit hingga 90 mm/menit. Tool berasal dari material Super HSS yang telah dikenai proses *hardening* dengan diameter 18 mm. Pin berdiameter 5,5 – 7,2 mm dengan bentuk kerucut sepanjang 5,8 mm. Dari penelitian tersebut didapatkan kekuatan tarik terbesar sebesar 113 MPa dengan kecepatan pengelasan 80 mm/menit dan putaran spindel 1072 rpm.

2.2 Pengelasan

Berdasarkan *Welding Science and Technology* pengelasan merupakan proses menggabungkan dua material lewat penggabungan lokal dari kombinasi yang tepat antara temperatur, tekanan dan kondisi metalurgi. Dari temperatur dan tekanan, mulai dari pengelasan dengan temperatur tinggi tanpa tekanan sampai tekanan tinggi dengan temperatur yang rendah (*Welding Science and Technology, Introduction to Welding Technology*:1). Sedangkan, menurut *American Welding Society* (AWS), proses pengelasan merupakan proses penyambungan material dengan menggunakan kumpuh las, sedangkan kumpuh las didefinisikan sebagai logam yang membeku dari logam yang sebelumnya berada dalam keadaan cair akibat pemanasan pada temperatur tertentu dengan atau tanpa penekanan, dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi.

Menurut Wiryosumarto (1994) klasifikasi pengelasan secara umum dibagi menjadi tiga, yaitu :

1. Pengelasan Cair

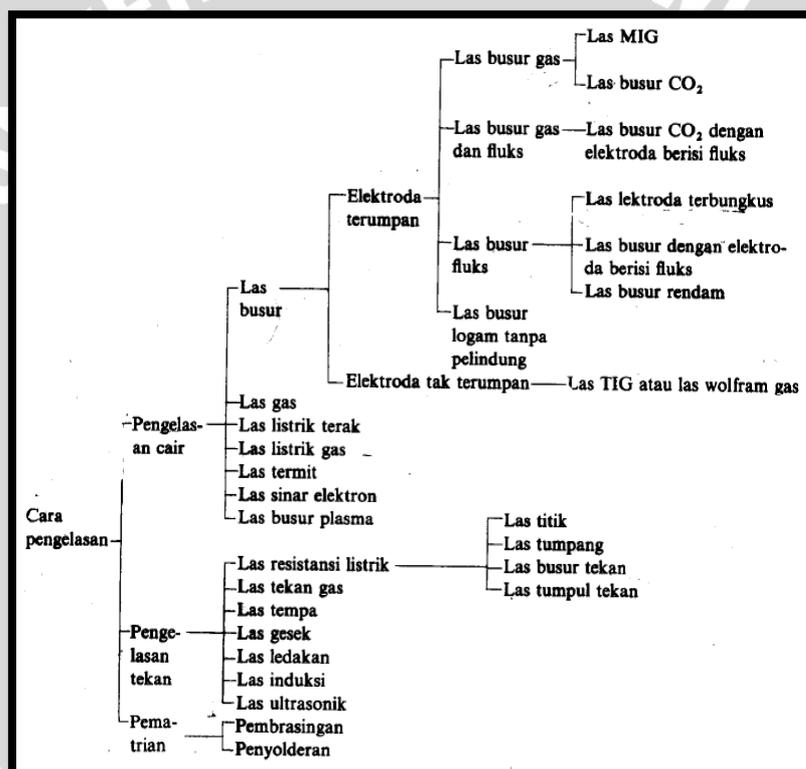
Pengelasan cair merupakan jenis pengelasan dimana pada daerah sambungan dipanaskan sampai mencair dengan menggunakan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

2. Pengelasan Tekan

Merupakan cara pengelasan dimana pada daerah sambungan dipanaskan dan kemudian pada sambungan yang telah panas tersebut ditekan hingga menjadi satu.

3. Pematrian

Pematrian adalah salah satu jenis pengelasan dimana pada daerah sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, logam induk tidak ikut mencair.



Gambar 2.1 Klasifikasi Cara Pengelasan

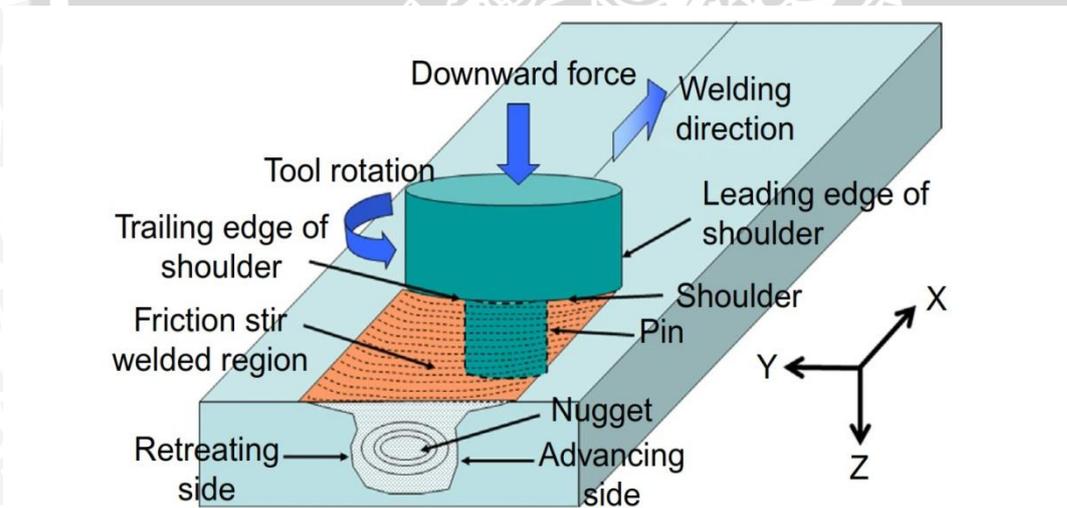
Sumber: Wiryosumarto (1994: 8)

2.3 Friction Stir Welding

Friction stir welding merupakan salah satu teknik pengelasan yang baru diciptakan di *The Welding Institut* (TWI) pada tahun 1991 di Cambridge Inggris oleh Wayne Thomas. *Friction Stir Welding* merupakan sebuah proses pengelasan yang baru di promosikan, dengan sedikit biaya pada proses pengelasannya dan kualitas hasil

sambungan yang baik. Hal tersebut terjadi karena dalam metode ini tidak diperlukannya *filler* / logam pengisi dan bisa memperkecil terjadinya cacat retak dan porositas pada hasil sambungan. Prinsip dari *Friction Stir Welding* menggunakan *tools* yang berputar sesuai kecepatan *spindle* dan bergerak melintas sesuai dengan *feedrate* sehingga terjadi penempaan pada pusat lasan menjadi lebur.

Proses pengelasan pada FSW bekerja di bawah suhu *melting* dari material benda kerja yaitu sekitar 80%-90% dari titik *melting*-nya (Chao, Qi dan Tang, 2003:138). Dikarenakan apabila terlalu tinggi temperature maka material induk terlalu cair sehingga akan terjadi *slip* dan kurang teraduk sesuai dengan ikatan mekanik (Lohwasser,2009). Pada proses *friction stir welding* (FSW), panas dihasilkan dari gesekan antara *tool* dan benda kerja. Benda kerja akan menerima 95% dari panas total sedangkan *tool* akan menerima 5% dari panas total. Panas yang mengalir pada benda kerja akan menentukan kualitas dari las-an, *residual stress* dan distorsi, Sedangkan panas yang mengalir pada *tool* akan berpengaruh pada keawetan *tool*. (Chao, Qi dan Tang, 2003:1)



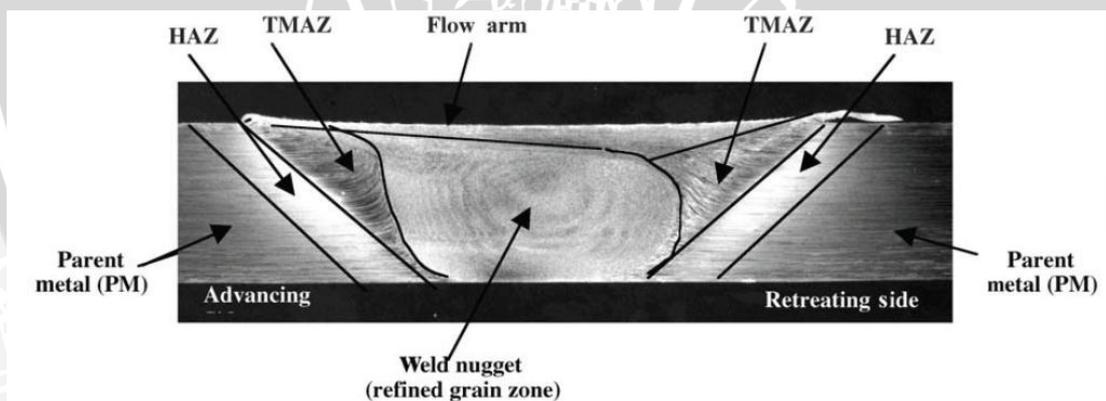
Gambar 2.2 Skema *Friction Stir Welding*
Sumber: Mishra dan Ma (2005)

Prinsip *Friction Stir Welding* yang ada pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa terjadinya panas diperoleh dari gesekan antara *tool* dan spesimen yang *continue*, ini merupakan suatu prinsip dasar terciptanya proses pengelasan gesek. Pada proses *friction stir welding*, sebuah *tool* yang berputar di gunakan untuk menekan material yang akan di satukan. Gesekan antara material yang akan disambung dengan *tool* yang berbentuk silindris (*cylindrical-shoulder*) yang dilengkapi *pin* / *probe* dengan material yang lebih

keras dari logam induknya, mengakibatkan panas yang dihasilkan terfokus sehingga mampu melunakkan material yang akan dipadukan. *Tool* bergerak pada kecepatan yang konstan dan bergerak sepanjang jalur pengelasan (*joint line*) dari material yang akan di padukan dalam kondisi tercengkam rapat.

Parameter pengelasan yang digunakan merupakan parameter permesinan sehingga harus disesuaikan sedemikian rupa, sehingga pengurangan volume dari pin saat terjadi gesekan dengan material kerja dapat diperkecil. Hal ini bertujuan untuk menjaga *heat input* yang konstan sepanjang pengelasan atau *joint line*. Benda kerja harus dicengkam dengan kuat pada ragum untuk mempertahankan posisinya menolak gaya yang terjadi saat pengelasan. Agar mendapatkan hasil las yang optimum. Mishra dan Ma (2015), menjelaskan bahwa terdapat beberapa keuntungan yang dapat diperoleh pada metode ini, antara lain:

1. Mampu mengelas logam yang berbeda.
2. Tidak terjadi pelelehan selama pengelasan.
3. *Tool* dapat digunakan terus - menerus.
4. Tidak memerlukan bahan pengisi / *filler*.
5. Tidak menimbulkan gas / polusi.

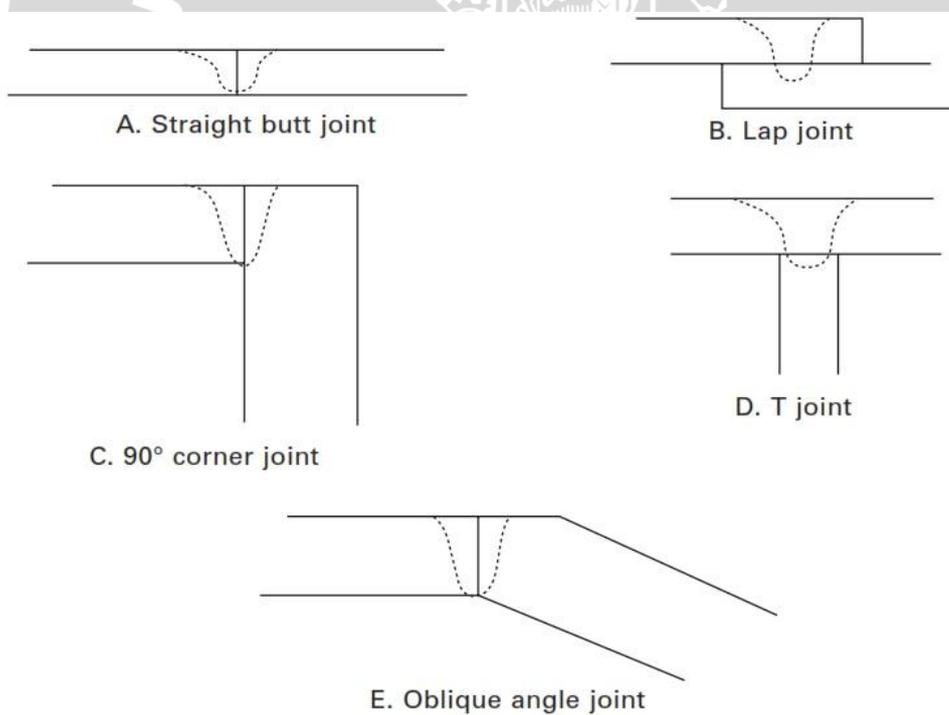


Gambar 2.3 Pembagian Daerah Pengelasan pada FSW
Sumber: ASM International (2007)

Friction Stir Welding menghasilkan daerah daerah pengelasan yang diakibatkan oleh panas yang dihasilkan dari putaran tool dan gerakan translasi akan menciptakan perbedaan struktur pada sambungan las. Adapun perbedaan daerah pengelasan dibagi menjadi 4 area yaitu :

1. *Weld Nugget* adalah area yang melunak dan membentuk ikatan metalurgi pengelasan akibat gesekan dan adukan tool.

2. *Thermomechanically Affected Zone (TMAZ)* adalah area mengalami deformasi plastis akibat panas yang dihasilkan dari gesekan tool. Meskipun mengalami deformasi plastis, pada area ini tidak mengalami rekristalisasi seperti halnya weld nugget. Biasanya ada batas jelas yang membedakan daerah TMAZ dan *weld nugget*.
3. *Heat Affected Zone (HAZ)*, area ini merupakan area yang paling dekat dengan pusat dari lokasi pengelasan. Material pada area ini sudah mengalami siklus termal yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari base metal. Meskipun demikian, material pada area ini tidak mengalami deformasi plastis akibat panas pengelasan.
4. *Base Metal*, merupakan bagian utama dari material yang tidak terpengaruh apapun akibat panas yang dihasilkan pada proses pengelasan (ASM International, 2007).



Gambar 2.4 Jenis Sambungan Pengelasan
Sumber: Lohwasser, 2009

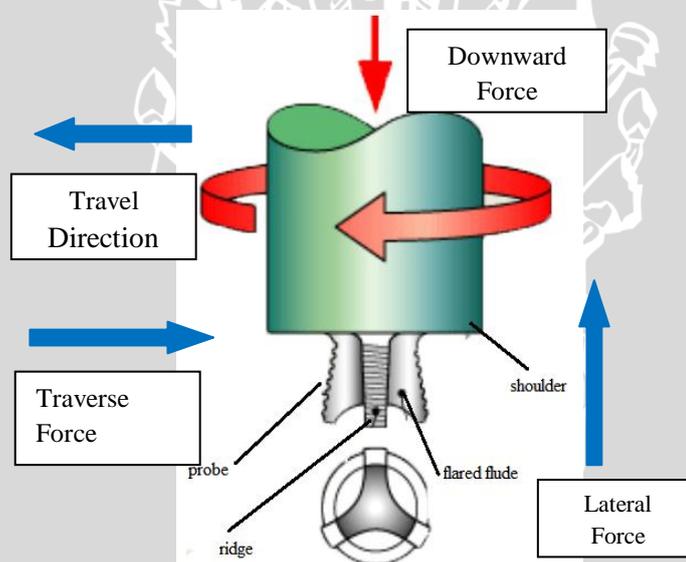
Pengelasan jenis ini pada umumnya dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan sambungan temu (*Butt joint*) dan sambungan tumpang tindih (*Lap joint*). Namun sejalan dengan pengembangannya, pengelasan jenis ini dilakukan dengan beberapa variasi antaralain : sambungan temu dengan ketebalan benda (*Dissimilar Thickness Butt*),

sambungan tegak lurus (*Tee*), sambungan sudut (*Corner*), sambungan pengisian tumpang tindih (*Lap Fillet*), dan sambungan temu ganda (*Double Sided Butt*).

2.4 Gaya pada *Friction Stir Welding*

Gaya yang terjadi pada *tool Friction Stir Welding* adalah:

1. *Downward force*, merupakan gaya utama yang bertujuan untuk mempertahankan posisi *tool* pada daerah aduk atau dibawah permukaan material benda kerja.
2. *Traverse force*, gaya yang sejajar dengan arah pergerakan *tool*. Peningkatan gaya transversal merupakan wujud resistansi material terhadap pergerakan *tool*, dan sejalan proses gaya ini akan berkurang sejalan dan naiknya temperatur kerja.
3. *Lateral force*, adalah reaksi gaya dari *downward force* atau gaya yang tegak lurus dengan arah dari pergerakan *tool*.
4. *Torsi* merupakan besaran yang diakibatkan oleh gaya yang bekerja pada suatu lengan sehingga menyebabkan benda memiliki kecenderungan berputar.



Gambar 2.5 Gaya-gaya pada *Friction Stir Welding*

Sumber: Suardi, 2011: 9

2.5 Parameter Pengelasan *Friction Stir Welding*

Parameter pengelasan FSW meliputi :

1. *Rotation Speed* (kecepatan putar). Peningkatan dari kecepatan putar secara umum akan menurunkan kebutuhan tekanan pengelasan dan meningkatkan masukan

panas. Penurunan tekanan pengelasan tidak akan meningkatkan putaran secara langsung.

2. *Travel Speed* (kecepatan pengelasan). Peningkatan kecepatan pengelasan akan meningkatkan tekanan pengelasan. Hubungan antara kecepatan putar, kecepatan pengelasan, dan tekanan pengelasan dapat dilihat pada tabel 2.x.
3. *Travel Angle* (*sudut pengelasan*). Peningkatan sudut pengelasan akan memperbesar tekanan pengelasan. Ketika sudut pengelasan berada diluar batas yang seharusnya, akan mengakibatkan pembentukan flash yang lebih sensitif. Pada pengelasan dengan ketebalan sama, sudut pengelasan optimal pada nilai $1,5^{\circ}$ sampai 3° . Sudut pengelasan 0° dapat diperbolehkan untuk tekanan pengelasan yang rendah, dan *travel speed* yang tinggi, serta kondisi mesin yang tidak fleksibel.
4. *Plunge Rate* (*kecepatan penetrasi tool*). Penetrasi tool yang cepat akan berdampak pada peningkatan *welding force* (Mishra, 2005).
5. Geometri *Tool* merupakan parameter yang perlu diperhatikan dalam pembuatan tool meliputi diameter shoulder, diameter pin, panjang pin, serta bentuk pin. Geometri tool yang tepat akan menghasilkan daerah pengelasan yang optimal.

Rotational speed (kecepatan putar) dan *travel speed* (kecepatan tempuh) harus ditentukan untuk memperoleh proses pengelasan yang efisien dengan hasil yang optimal. Hubungan antara kecepatan tempuh dan *heat input* selama proses pengelasan bisa dikatakan bahwa, bertambahnya *Rotational speed* atau menurunkan *travel speed* cenderung akan meningkatkan *heat input* dan temperature pengelasan (Terry, 2005: 13). Jika pada material tidak cukup mendapatkan panas maka yang akan terjadi adalah hasil pengelasan menjadi tidak optimal sehingga dimungkinkan terjadi cacat rongga atau cacat - cacat lain dan kemungkinan *tool* mengalami kerusakan. Namun apabila *heat input* yang terlalu tinggi dapat juga merugikan sifat akhir dikarenakan perubahan karakteristik / sifat logam induk material. Oleh sebab itu, saat menentukan parameter harus dilakukan secara matematis. Untuk itu *heat input* harus cukup tidak terlalu tinggi atau terlalu rendah untuk mencegah timbulnya sifat - sifat las yang merugikan.

Tekanan *shoulder* bertujuan untuk memberi efek *forging* pada benda kerja. Benda kerja pada kondisi panas di tekan dari atas oleh *shoulder* dan di tahan oleh landasan benda kerja dari bawah. Tujuan proses ini adalah memampatkan benda kerja yang akan disambung agar dapat tersambung karena adanya efek tempa tersebut. Selain itu pada tekanan *shoulder* juga menghasilkan *heat input* karena permukaannya yang lebih besar bergesekan dengan benda kerja.

Tabel 2.1 Hasil *Axis Load* pada *Rotational Speed* dan *Travel Speed*

<i>Rotational Speed</i> (rpm)	<i>Travel Speed</i>	<i>Axis Load</i>
90	0.85	28.9
135	1.27	30
180	1.7	27.8
270	2.54	37.8
315	2.96	37.8
405	3.81	45.6
120	0.85	24.5
180	1.27	24.5
240	1.7	24.5
360	2.54	30
540	3.81	41
720	5.1	37.8
180	0.85	20
270	1.27	22
360	1.7	24
540	2.54	33.5
630	2.96	36
810	3.81	39
900	4.2	36.5

Sumber: Mishra (2005: 59)

2.6 Pengujian Tarik

Uji tarik digunakan untuk memperoleh informasi dari kekuatan bahan dan sebagai uji spesifikasi bahan. Pada uji tarik spesimen dibebani gaya tarik searah sumbu secara kontinyu. Sedangkan kekuatan tarik merupakan kekuatan untuk menerima beban tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum bahan sebelum patah. Hubungan tegangan regangan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Tegangan tarik merupakan distribusi gaya tarik persatuan luas bahan, dirumuskan:

$$\sigma_T = \frac{F}{A}$$

Dimana :

σ_T = Tegangan tarik

F = Gaya tarik

A = Luas penampang

- Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang awal, dirumuskan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Dimana :

ε = Regangan (%)

l_0 = Panjang awal (mm)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

Untuk hampir semua bahan material tahap uji tarik hubungan antara beban atau gaya yang diberikan pada bahan percobaan berbanding lurus terhadap perubahan panjang bahan tersebut, ini disebut daerah linier. Didaerah ini kurva pertambahan panjang terhadap beban sebagai berikut:

“Rasio tegangan dan regangan adalah konstan” .Sehingga hubungan antara tegangan dan regangan di rumuskan :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

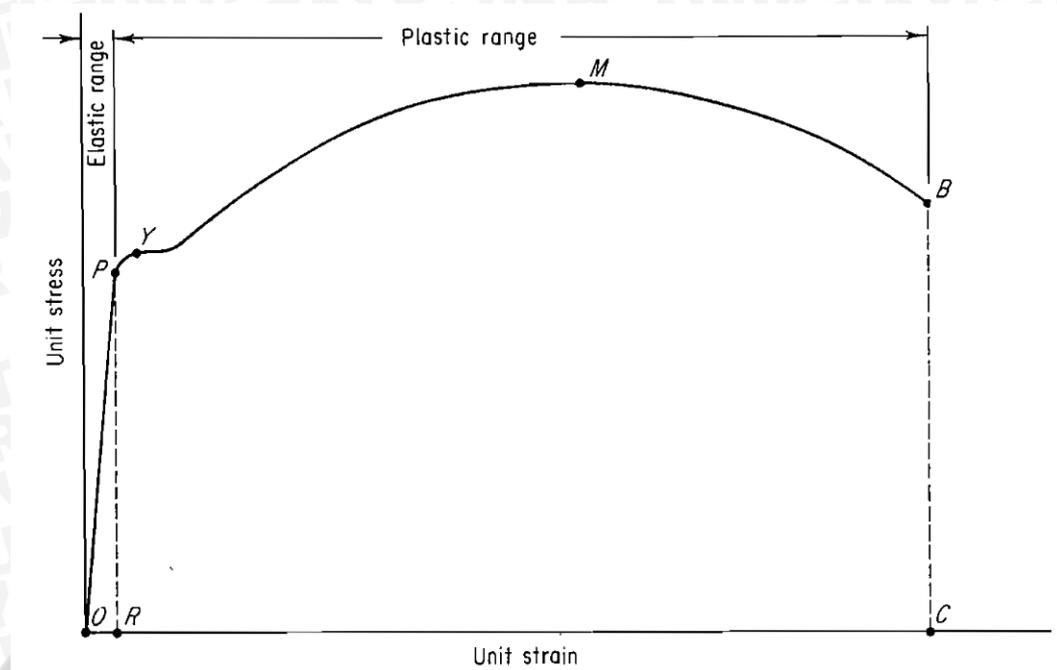
Dimana :

E = Modulus elastisitas

σ = Tegangan

ε = Regangan

- Hubungan antara regangan dan tegangan juga dapat diketahui dengan jelas dari grafik tegangan – regangan yang berdasarkan hasil uji tarik sebagai berikut :



Gambar 2.6 Hubungan Tegangan dengan Regangan
Sumber : Avner (1974:38)

Istilah mengenai sifat-sifat mekanik bahan dengan melihat hasil uji tarik diatas. Asumsikan bahwa kita melakukan uji tarik mulai titik 0 sampai D sesuai dengan arah panah dalam gambar.

- Daerah Elastis (*Elastic Range*)

Dalam gambar diatas dinyatakan dengan daerah pada titik 0 sampai dengan R. Daerah terjadinya deformasi elastis, yang dimana kenaikan tegangan dan regangan berbanding lurus sehingga membentuk kurva yang linier atau nilai perubahan tegangan dan regangan sama.

- Batas proporsional (*P*)

Titik sampai dimana penerapan hukum Hooke masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek biasanya, batas proporsional sama dengan batas elastis, yang mana merupakan batas dari keseimbangan antara penambahan tegangan dan regangan.

- Tegangan luluh (*Yield Stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing, peralihan deformasi elastis ke plastis.

- Daerah plastis

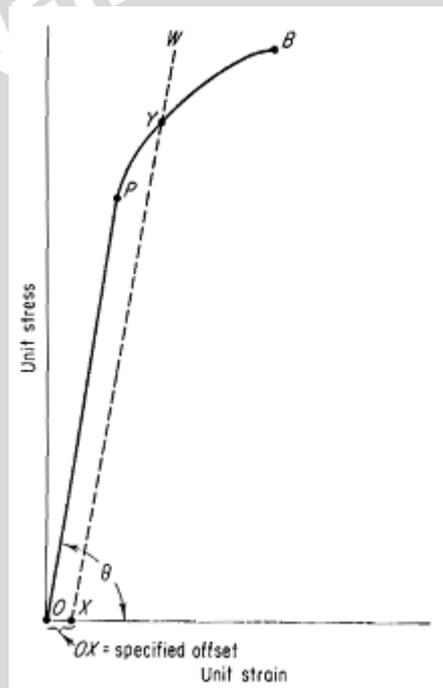
Daerah dimana terjadinya deformasi plastis yang terjadi setelah *yield strength* sampai *fracture*. Kenaikan tegangan regangan merupakan fungsi *polynomial* sampai titik *ultimate strength*, kemudian putus sampai *fracture*.

- *Ultimate Tensile Strength (M)*

Titik terjadinya tegangan regangan tertinggi yang dapat dicapai material atau spesimen. Pada saat titik *Ultimate (M)*, spesimen mengalami *necking* (pengecilan penampang) dengan diikuti penurunan tegangan, tapi panjangnya tetap bertambah sampai akhirnya putus.

- *Fracture (B)*

Titik dimana terjadinya patahan pada spesimen.

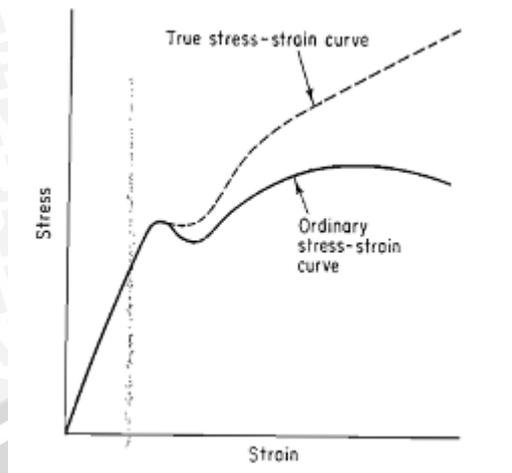


Gambar 2.7 Metode *Offset*

Sumber : Avner (1974:39)

Pada gambar diatas, ditunjukkan dengan titik *B*, merupakan besar tegangan dimana bahan yang di uji putus atau patah.

Apabila suatu proses material dihasilkan dengan tegangan-regangan yang tidak memperlihatkan titik luluh / *yield*, maka mencarinya dengan metode *offset*, yaitu menarik garis lurus sejajar dengan diagram tegangan dimulai dari titik 0 regangan yang digunakan sebagai acuan dengan jarak 0,2% dari regangan maksimum. Perpotongan garis *offset* dengan kurva tegangan regangan itulah tegangan *yield* dari bahan tersebut.



Gambar 2.8 Hubungan Tegangan Regangan Rekayasa dan Sejati

Sumber : Avner (1974:42)

Kurva tegangan regangan pada gambar 2.8 menunjukkan perbedaan tegangan regangan rekayasa dengan sejati. Tegangan regangan rekayasa dari hasil pengukuran benda uji tarik, sedangkan tegangan regangan sejati dapat dihitung dengan membagi gaya (F) dengan penampang awal benda kerja (A_0).

2.7 Heat Input

Heat input / panas yang masuk merupakan salah satu hal yang paling penting dalam pengelasan logam. Pada proses pengelasan *Friction Stir Welding*, panas berasal dari *tool* pengelasan yang bergesekan dengan benda kerja. rumus *heat input* akibat gesekan antara *tool* pengelasan dan benda kerja yang dirumuskan oleh D. Lohwasser dan Z. Chen pada persamaan 2-5 sampai dengan 2-9 yang selanjutnya kami perjelas dan kami turunkan menjadi :

$$Q_{shoulder} = \int_{R_{probe}}^{R_{shoulder}} 2\pi \tau_{contact} \omega r^2 dr \quad (\text{Lohwasser, 2009: 281}) \quad (2-2)$$

$$= \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} (R_{shoulder}^3 - R_{probe}^3)$$

$$Q_{probe\ side} = \int_0^{H_{probe}} 2\pi \tau_{contact} \omega r^2 dz \quad (2-3)$$

$$= 2\pi \omega \tau_{contact} R_{probe}^2 H_{probe}$$

$$Q_{probe\ tip} = \int_0^{R_{probe}} 2\pi \tau_{contact} \omega r^2 dr \quad (2-4)$$

$$= \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} R_{probe}^3$$

$$Q_{total} = Q_{shoulder} + Q_{probe\ side} + Q_{probe\ tip} \quad (2-5)$$

Atau

$$P = \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} (R_{shoulder}^3 + 3R_{probe}^2 H_{probe}) \quad (2-6)$$

$$\tau_{contact} = \mu \times p$$

$$\omega = rpm \times \frac{2\pi}{60}$$

$$p = \frac{F_z}{A_{tool}}$$

dengan:

W = Total usaha yang dibutuhkan (J)

P = Kalor yang dihasilkan setiap detiknya (J/s)

t = waktu pengelasan (s)

ω = Kecepatan Sudut (rad/s)

$R_{shoulder}$ = Jari-jari *shoulder* (m)

R_{probe} = Jari-jari *probe* (m)

H_{probe} = Tinggi *probe* (m)

$\tau_{contact}$ = Tegangan geser antara *tool* dengan material (N/m^2)

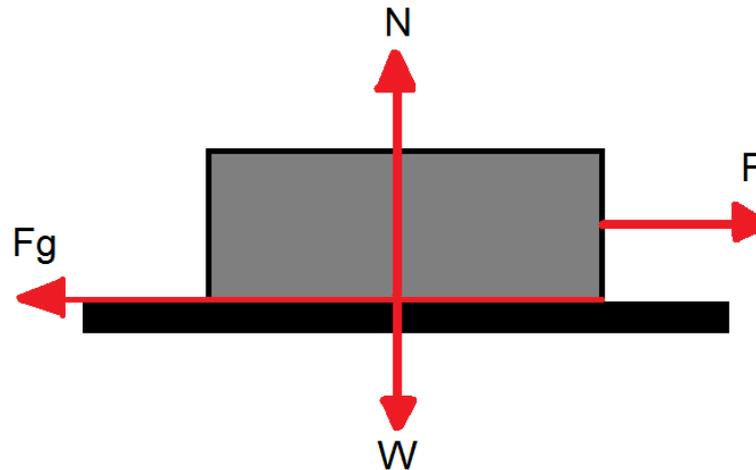
μ = Koefisien gesek material

F_z = Gaya aksial *tool* terhadap benda kerja (N)

A_{tool} = Luas permukaan *tool* (m^2)

2.8 Gesekan

Ketika dua benda bertemu dan saling bersinggungan antara satu dengan yang lain biasa disebut dengan gesekan (*friction*), sedangkan gaya yang bekerja di dalamnya disebut gaya gesek (*friction force*). *Friction* adalah gesekan diantara dua permukaan yang saling kontak dan bergerak relatif. Koefisien gesek adalah area kontak antara dua permukaan, sifat dan kekuatan yang saling mempengaruhi.



Gambar 2.9 Fenomena Gesekan

Dari Hukum Kekekalan Energi, kalor merupakan energi yang dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Energi listrik dapat berubah menjadi energi kalor dan juga sebaliknya. Begitu pula pada *Friction Stir Welding*, panas yang didapat dari gesekan *tool* dengan material. Besarnya energi listrik yang diubah sama dengan besar kalor yang dihasilkan. Sehingga secara dapat dirumuskan :

Ketika $\Delta E=0$, maka $Q=W$ (Cengel, 2006:74) (2-7)

Untuk menghitung energi digunakan persamaan sebagai berikut :

$$W = F_g \cdot s \quad (\text{Cengel, 2006:66}) \quad (2-8)$$

dengan :

Q = Calorie (Cal)

W = Usaha (J)

F_g = Gaya Gesek (Newton)

s = Jarak (m)

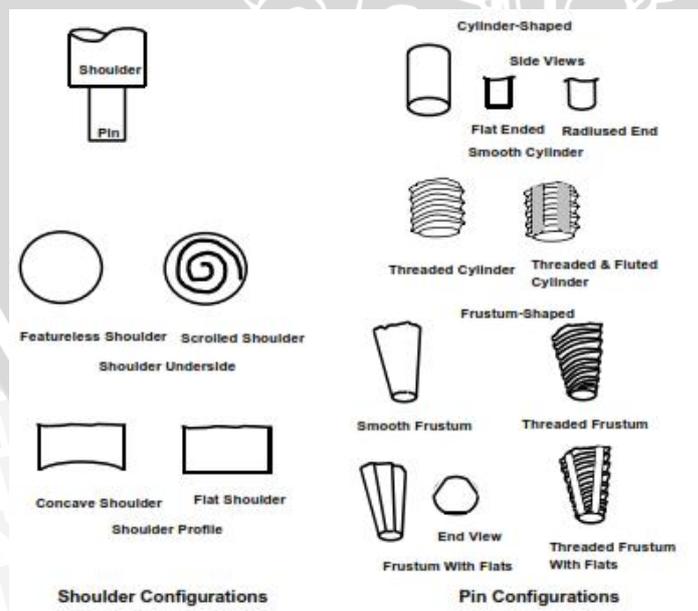
Dari penjabaran diatas maka dapat ditarik bahwa daya yang didapatkan saat pengelasan sama dengan lamanya waktu saat pengelasan berpengaruh terhadap kalor yang dihasilkan, begitu pula sebaliknya.

2.9 Perancangan Tool

Pada awal penemuan *Friction Stir Welding*, *tool* yang digunakan masih berupa satu silinder utuh dengan bentuk *probe* silinder sederhana. Bentuk *probe* yang sederhana hanya bisa menghasilkan *flow material* dan pencampuran yang terbatas, akibatnya kecepatan pengelasan yang dihasilkan juga rendah (Terry, 2005: 13). *Heat*

input yang didapat dari gesekan *tool* dengan benda kerja saat dilas sekitar 70% sampai dengan 80% dari temperatur titik lebur benda kerja yang akan dilas. Material dari *tool* sendiri harus memiliki titik cair dan juga sifat mekanik yang lebih baik dari pada benda kerja, agar saat proses pengelasan berlangsung *tool* tidak rusak dan tercampur dengan material yang akan dilas. Perancangan *tool* merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi sifat mekanik sambungan. Material *tool* merupakan faktor yang mempengaruhi koefisien gesek, dan *heat input* yang dihasilkan. Oleh sebab itu, perancangan *tool* merupakan salah satu hal yang harus diperhatikan dari *Friction Stir Welding*.

Semakin berkembangnya ilmu dan teknologi, bentuk – bentuk *tool* pun semakin bervariasi dengan maksud yang bervariasi pula. Perkembangan *tool* memiliki perbedaan antara satu dengan yang lain, contohnya pada bentuk pin yang dimiliki. Contoh : *threaded pin*, *Fluted pin* dan *frustum pin* dengan bagian bawah rata ditemukan untuk tujuan memperbaiki kualitas pengelasan, mempercepat *travel speed*, dan menyempurnakan *mixing material*. *Concave shoulder* dan *scroll shoulder* dibuat untuk mengurangi efek *undercutting* dan *flash* pada sambungan yang ditimbulkan akibat bagian bawah *tool shoulder* (Terry, 2005: 13). Berikut merupakan contoh dari bentuk *shoulder* dan *pin*.



Gambar 2.10 Konfigurasi *Shoulder* dan Pin
Sumber: Terry (2005: 14)

Perkembangan dalam perancangan *tool* dari sederhana menjadi rumit seiring dengan berkembangnya jenis material dari *tool* itu sendiri. Material *tool* dari *Friction Stir Welding* harus mempunyai *chemical wear resist* dan *physical*, temperatur lebur (*melting point*) yang tinggi, dan efektifitas dalam melepas panas pada saat proses pengelasan berlangsung. (Terry, 2005: 13).

2.10 Tembaga

Tembaga dalam dunia industri pada umumnya digunakan sebagai bahan penghantar listrik dan penukar panas. Sejak tahun 1913 untuk satuan hantaran listrik tembaga dinyatakan dalam % (persen) mengacu pada *International Annealed Copper Standard* (IASC) yang mempunyai nilai rata-rata 100% untuk tembaga teknis. Dalam standard ini suatu tahanan dinyatakan 100% jika tahanan spesifik pada 20°C adalah 1,7241 $\mu\Omega\text{cm}$ atau 0,153280 $\Omega/\text{g.m}$ (pada masa jenis 8,89 g/cm^3). Seiring berkembangnya teknologi pemurnian tembaga, kemurnian tembaga telah mencapai level yang sangat baik. Saat ini tembaga yang paling murni mempunyai konduktivitas listrik 103%. Pada tahun 1950-an nilai hantaran panas tembaga pada 20°C sebesar 0,923 cal/(cm.derajat.detik) dan menjadi lebih baik pada tahun 1970-an menjadi 0,941 cal/(cm.derajat.detik) (Surdia, 1999).

Tembaga murni untuk keperluan industri dicairkan menggunakan proses elektrolisa, dan dikelompokkan menjadi tiga jenis menurut kadar oksigen dan cara deoksidasi yaitu tembaga ulet, tembaga deoksidasi, dan tembaga bebas oksigen. Jika oksigen terkandung dalam unsur-unsur pengotor tembaga akan menyebabkan pengendapan sebagai oksida yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan tembaga untuk menghantarkan listrik. Oksida yang banyak akan menyebabkan kegetasan hidrogen pada temperatur tinggi. Untuk mencegah hal ini dipergunakan tembaga deoksidasi atau tembaga bebas oksigen. Dalam tembaga murni untuk keperluan industri biasanya terdapat unsur-unsur gas yang memberikan pengaruh terhadap berbagai sifat. Oksigen adalah unsur penting yang berhubungan dengan kadar hidrogen dan belerang. Dan untuk tembaga yang dipakai pada penelitian ini memiliki komposisi kimia antara lain Cu : 99.19 % \pm 0.09 ; P : 0.20 % \pm 0.02 ; Ca : 0.21 % \pm 0.02 ; Fe : 0.17 % \pm 0.005 ; Ni : 0.11 % \pm 0.003 ; Ba : 0.1 % \pm 0.01 ; Cr : 0.041 % \pm 0.003 ; Ti : 0.01 % \pm 0.003.

Tabel 2.2 Material Properties Paduan Tembaga dan Penggunaannya

Paduan	Komposisi kimia utama (%)	Sifat-sifat mekanik setelah pengaliran			Penggunaan
		Kekuatan tarik ($\frac{kgf}{mm^2}$)	Kekuatan mulur ($\frac{kgf}{mm^2}$)	Perpanjangan (%)	
Kuningan 70-30	70Cu-30Zn	32,6	11,5	60	Emas tiruan, penarikan dalam
Kuningan 60-40	60Cu-40Zn	37,8	12,0	45	Pemrosesan logam tipis
Kuningan pemotongan bebas	61,5Cu-35,5Zn-3,0Pb	34,3	12,6	53	Sekrup, baut
Kuningan Admiralty	71,0Cu-28,0Zn-1,0Sn	32,5	9,4	65	Kondensor, kuningan kapal dengan seng tinggi untuk komponen kapal
Brons Fosfor	94,8Cu-5,0Sn-0,25P	35,0	14,0	58	Roda gigi, pegas
Brons Mangan	58,5Cu-39,2Zn-1,0Sn-1,0Fe-0,3Mn	45,5	21,0	35	Poros baling-baling kapal
Brons Aluminium	95,0Cu-5,0Al	38,6	15,4	65	Untuk industri kimia, bahan korosi
Perak Mangan	65,0Cu-17,0Zn-18,0Ni	40,7	17,5	40	Untuk penarikan dalam, perhiasan, pengukur
Cupronickel	70,0Cu-30,0Ni	40,0	17,5	45	Tembaga putih, pipa tahan korosi
Brons Berillium	98,0Cu-2,0Be	48,5	24,6	35	Paduan penuaan, pegas

Sumber: Surdia (1999:124)

2.11 Aluminium

Aluminium ditemukan oleh Sir Humprey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H.C Oersted pada tahun 1825. Selanjutnya aluminium dikembangkan dalam dunia industri oleh Paul Heroult di Perancis dan C.M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah. Mereka telah mendapatkan logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garam yang terfusi. Sampai saat ini produksi aluminium masih menggunakan metode Heroult Hall. Penggunaan aluminium adalah tertinggi di dunia diantara logam non ferro.

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik, dan merupakan konduktor listrik yang baik (Wirjosumarto, 2000:113). Pada perkembangannya, aluminium diberi kandungan logam tambahan lain seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, dan Ni dimana hal ini digunakan untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan menambahkan sifat baik yang lainnya.

Aluminium memiliki beberapa kelebihan yang melandasi logam ini dipakai dalam kebutuhan industri. Sifat-sifat aluminium yaitu:

1. Ringan

Aluminium tergolong dalam jenis logam yang memiliki berat jenis dengan ringan dengan densitas 2.7 gram/cm^3 , sehingga aluminium banyak dipergunakan dalam pembuatan alat dan benda yang membutuhkan berat ringan dan kekuatan yang baik.

2. Tahan Korosi

Aluminium merupakan salah satu logam yang memiliki daya tahan terhadap korosi yang cukup baik, hal ini disebabkan karena fenomena pasivasi, yaitu pembentukan lapisan aluminium oksida pada lapisan luar aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas.

3. Mampu Bentuk Baik

Mudah dibentuk dan memiliki mampu mesin yang baik, dengan adanya sifat ini yang menyebabkan aluminium aplikatif untuk berbagai jenis komponen mesin.

4. Dapat Didaur Ulang

Dapat diproses ulang, kemampuan aluminium untuk didaur ulang dapat mengurangi biaya pembuatan, khususnya saat proses peleburan karena tidak dibutuhkan energi yang terlalu tinggi saat melebur aluminium daur ulang

5. Penghantar Listrik yang Baik

Aluminium memiliki daya hantar listrik yang cukup baik yaitu, kurang lebih 65% dari daya hantar tembaga.

Penetapan standarisasi logam dengan proses pengecoran aluminium menurut *American Standard Testing Materials* (ASTM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan. Sedangkan, komposisi aluminium yang dipakai sebagai berikut : Al : 99.1 % ; Fe : 0.508 % ; Si : 0.132 % ; Mn : 0.0879 % ; Cu : 0.0852 % ; Mg : 0.0189 % ; Ti : 0.0172 % ; Zn : 0.0072 % ; Cr : 0.0012 % ; Lainnya : 0.0424 %.

Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Aluminium

Sifat - sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		> 99,0	
Masa jenis (20°C)	2,6989		2,71	
Titik cair	660,2		653 – 657	
Panas jenis (cal/g.°C) (100°C)	0,2226		0,2297	
Hantaran listrik (%)	64,94		59 (dianil)	
Tahanan listrik koefisien temperatur (/°C)	0,00429		0,0115	
Koefisien pemuaian (20-100°C)	$23,86 \times 10^{-6}$		$23,5 \times 10^{-6}$	
Jenis Kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> , $\alpha = 4,013 \text{ kX}$		<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,04 \text{ kX}$	
Sifat - sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm^2)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(kg/mm^2)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

Sumber : Surdia (1999:134)

2.10 Hipotesa

Dari teori yang telah ada besarnya nilai kecepatan putar / *spindle speed* akan mempengaruhi kekuatan mekanik atau sifat mekanik pada sambungan temu antara aluminium dengan tembaga murni yang menggunakan metode pengelasan *friction stir welding*, dengan *feedrate* 74 mm / menit maka semakin besar kecepatan putar / *spindle speed* akan mengakibatkan semakin tingginya gesekan pada daerah pengelasan dalam fase *solid solution* sehingga kekuatan tariknya meningkat, namun pada putaran tertentu akan menurun nilai kekuatan tariknya. Hal ini diakibatkan kalor yang masuk pada material terlalu tinggi sehingga material terlalu cair dan terkena gaya sentripetal dari *tool* yang mengakibatkan ikatan mekanik yang kurang sempurna.

