BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Uji Tarik Spesimen Las

Dalam mencari sebuah data, sesuai yang dijelaskan sebelumnya bahwa penelitian ini menggunakan alat uji tarik setelah melakukan pengelasan pada spesimen dan selanjutnya telah dibentuk menjadi spesimen yang sesuai standar AWS B4. Pada setiap variasi kecepatan *spindle* dilakukan tiga kali pengujian tarik yang nantinya diperoleh nilai rata-rata dari ketiga pengulangan tersebut. Serta data yang kita ambil saat pengujian tarik adalah nilai kekuatan tarik *ultimate* dari sambungan las. Berikut ini merupakan tabel 4.1 yang menunjukkan hasil pengujian tarik spesimen las serta tabel 4.2 yang menunjukkan prosentase normalisasi kekuatan tarik sambungan las terhadap kekuatan tarik logam induk aluminium.

Tabel 4.1 Data Hasil Uji Tarik Spesimen Las

Kecepatan Putaran *Spindle* (rev/min)	Gaya Tarik (kN)		
	A	B	C
1096	4	5.5	4.4
1452	4.8	8.3	6.6
1842	6.1	3.8	4.4
2257	3	5.6	4
2906	3.8	3	2.9

Tabel 4.2 Data Kekuatan Tarik Spesimen Las

Kecepatan Putaran *Spindle* (rev/min)	Kekuatan Tarik (MPa)		
	A	B	C
1096	37.59	51.69	41.35
1452	45.11	78.01	62.03
1842	57.33	35.71	41.35
2257	28.20	52.63	37.59
2906	35.71	28.20	27.26
Logam Induk	67.67		

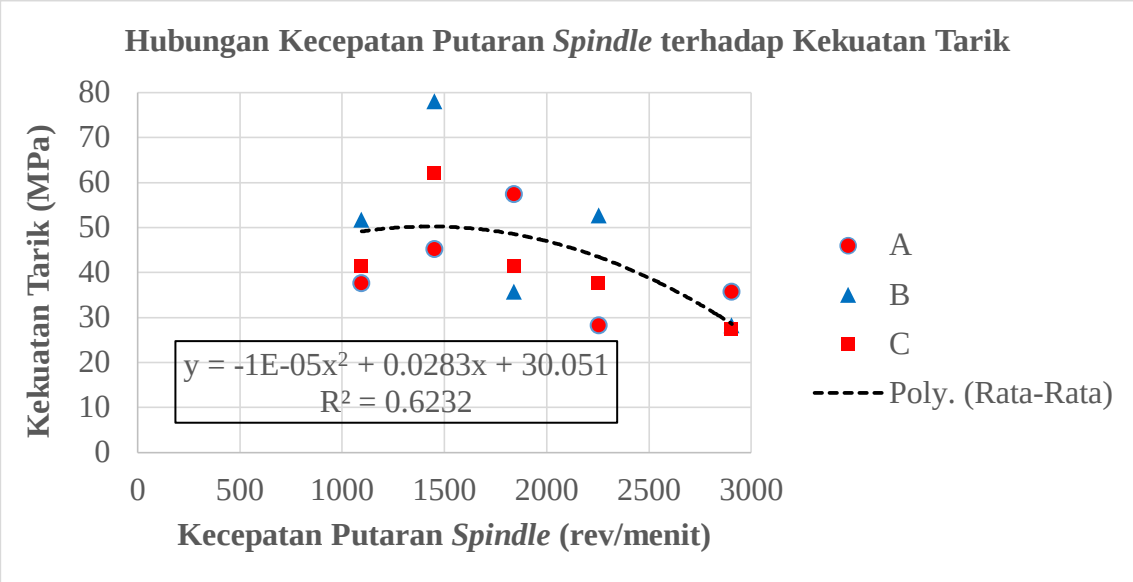
Tabel 4.3 Tabel Prosentase Normalisasi Kekuatan Tarik terhadap Kekuatan Tarik Logam Induk Aluminium Murni

Kecepatan Putaran *Spindle* (rev/min)	Kekuatan Tarik (MPa)		
	A	B	C
1096	0.56	0.76	0.61
1452	0.67	1.15	0.92
1842	0.85	0.53	0.61
2257	0.42	0.78	0.56
2906	0.53	0.42	0.40

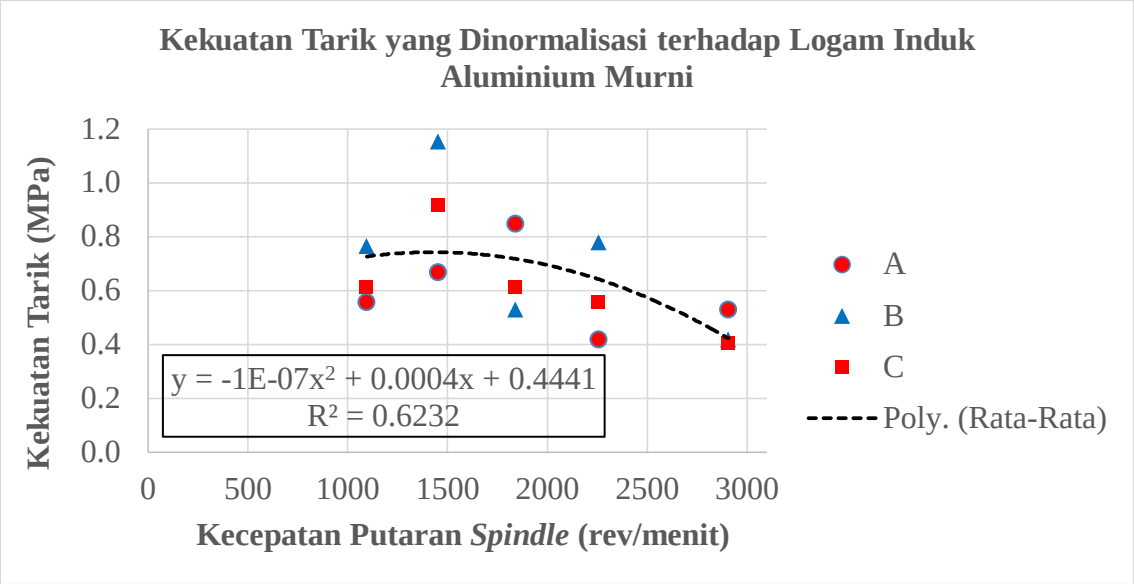
4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan Kecepatan Putar Terhadap Kekuatan Tarik

Gambar 4.1 dan 4.2 menjelaskan hubungan kecepatan putar terhadap kekuatan tarik pada pengelasan *Friction Stir Welding* antara aluminium dan tembaga murni.



Gambar 4.1 Hubungan Kecepatan Putaran *Spindle* Terhadap Kekutan Tarik Sambungan Las pada Aluminium dengan Tembaga Murni



Gambar 4.2 Kekuatan Tarik yang Dinormalisasi terhadap Logam Induk Aluminium Murni

Pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 diatas sumbu X menyebutkan nilai kecepatan putaran *spindle* (rpm). Apabila semakin ke kanan titiknya maka nilai putaran *spindel* semakin besar atau lebih cepat. Sedangkan, untuk sumbu "Y" menjelaskan seberapa besarnya kekuatan tarik pada spesimen (Mpa). Maka dapat dikatakan semakin keatas suatu titik pada variabel maka nilai kekuatan tarik material tersebut semakin besar.

Dari grafik diatas dapat diurutkan parameter yang menghasilkan nilai kekuatan tarik paling tinggi sampai dengan paling rendah pada kecepatan putar 1452 rpm, 1842 rpm, 1096 rpm, 2257 rpm, 2906 rpm. Dapat diuraikan lagi bahwa terjadi kecenderungan peningkatan nilai kekuatan tarik pada kecepatan putaran *spindle* antara 1096 rpm sampai dengan 1452 rpm hal ini dikarenakan naiknya *heat input*, namun kekuatan tarik turun pada kecepatan putar 1842 rpm sampai 2906 rpm dikarenakn *heat input* yang terlalu besar mengakibatkan fluiditas material meningkat lalu material tidak teraduk padat pada daerah las tapi terlempar keluar.

Dalam grafik 4.2 pada titik 1096 rpm mempunyai nilai kekuatan tarik rata – rata 43.55 MPa lalu pada titik 1452 rpm mengalami kenaikan nilai kekuatan tarik rata – rata sebesar 61.72 MPa. Pada kecepatan putar 1842 rpm dengan nilai kekuatan tarik rata – rata 44.80 MPa mulai mengalami penurun pada kecepatan putar 2257 rpm dengan kekuatan tarik rata – rata 39.47 MPa dan pada 2906 rpm dengan nilai kekuatan tarik sebesar 30.39 MPa. Dari hasil grafik diatas dapat dilihat pengaruh dari kecepatan putaran *spindle* terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las antara aluminium dengan

tembaga. Pada dasarnya kecepatan putaran *spindle* mempengaruhi *heat input* pada proses pengelasan *friction stir welding*. Sesuai dengan rumus *heat input* yang dikemukakan oleh D. Lohwasser dan Z. Chen dibawah ini :

$$Q = \frac{2}{3}\pi\omega\,\tau_{contact}\,(R^3_{shoulder} + 3R^2_{probe}H_{probe})\;;\;\tau_{contact} = \mu \times p$$

$$p = \frac{F_z}{A_{tool}}\;;\;\omega = rpm\;x\;\frac{2\pi}{60}$$

$$Q_{total} = Q\;t$$

dengan:

Q_{total} = Total kalor yang masuk selama proses pengelasan (J)
Q = 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) (D. Lohwasser, Z. Chen 2009)

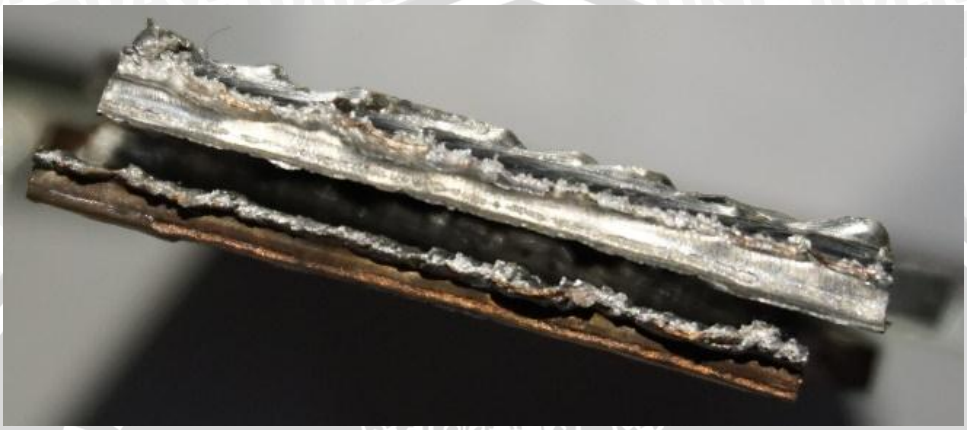
Dari uraian rumus *heat input* kecepatan putaran *spindle* sangat mempengaruhi *heat input* yang dihasilkan. Dengan kata lain semakin tinggi kecepatan putaran *spindle* maka semakin tinggi pula *heat input* pada proses pengelasan dan apabila kecepatan putaran *spindle* semakin kecil maka *heat input* yang dihasilkan semakin kecil. Pada pengelasan *friction stir welding* yang memanfaatkan transformasi material padat-cair, *heat input* yang digunakan harus sesuai agar menghasilkan kekuatan tarik yang optimal.

Pada tabel 4.2 dan gambar 4.3 merupakan grafik yang menunjukkan hasil normalisasi kekuatan tarik sambungan las dengan kekuatan tarik logam induk yang kekuatannya terendah dalam hal ini yang dimaksudkan adalah aluminium dengan kekuatan tarik sebesar 67.67 MPa. Tabel dan gambar ini juga untuk melihat seberapa efisien proses pengelasan dengan parameter tersebut.

4.2.2 Analisa Foto Makro

Analisa foto makro dalam pembahasan ini dimaksudkan untuk melihat lebih detail material las telah berikatan secara mekanik atau tidak. Berikut ini merupakan hasil foto makro patahan setelah spesimen diuji tarik.

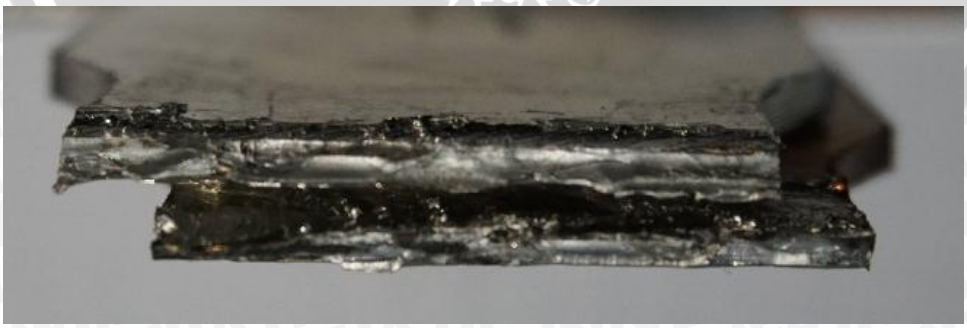
a. Putaran *Spindle* 1096 (rpm)



Gambar 4.3 Foto Makro Spesimen Setelah Uji Tarik Putaran *Spindle* 1096 RPM

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa pada putaran *spindle* 1096 rpm terjadi ikatan mekanik pada sambungan las namun terlihat kurang baik karena permukaan patahan yang rata memunjukkan tidak terjadinya perubahan pada permukaan sisi temu las an dan tidak terjadinya kemuluran pada sambungan las sehingga dengan kata lain kekuatan tariknya kurang optimal dikarenakan ikatan mekanik telah terjadi namun kurang maksimal dan dapat dikategorikan patahan getas.

b. Putaran *Spindle* 1452 (rpm)

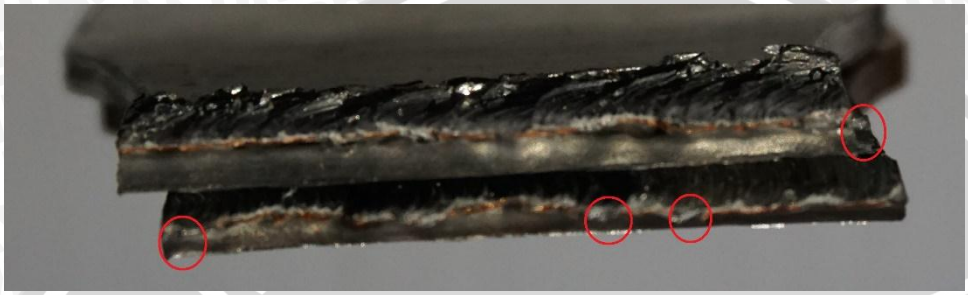


Gambar 4.4 Foto Makro Spesimen Setelah Uji Tarik Putaran *Spindle* 1452 RPM

Gambar 4.4 memperlihatkan permukaan spesimen setelah patah pada putaran *spindle* 1452 rpm. Permukaan spesimen yang tidak rata pada gambar diatas

menunjukkan terjadi kemuluran pada sambungan las saat proses uji tarik sehingga hasil kekuatan tariknya meningkat. Pada permukaan juga terlihat pengecilan dimensi pada permukaan yang dapat mengindikasikan kemuluran pada material saat diuji tarik. Hal ini juga dilihat bahwa patahan terjadi sedikit kearah aluminium namun tetap pada daerah *heat affected zone* dari pengelasan ini.

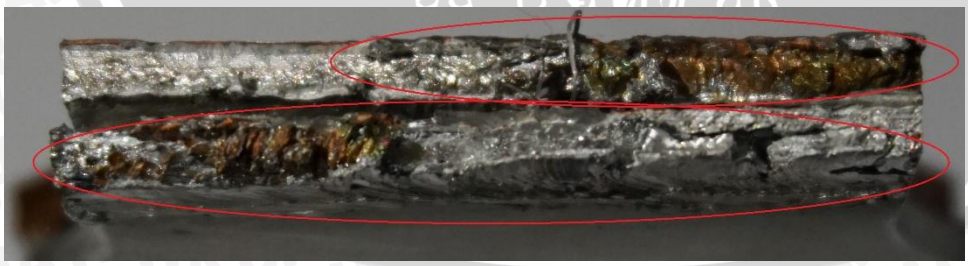
c. Putaran *Spindle* 1842 (rpm)



Gambar 4.5 Foto Makro Spesimen Setelah Uji Tarik Putaran *Spindle* 1842 RPM

Dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa pada putaran *spindle* 1842 rpm mulai terjadi persebaran masa aluminium dengan tembaga hal ini dapat dilihat pada permukaan patahan mulai tercipta banyak warna tembaga dan aluminium pada kedua sisinya. serta mulai terjadinya *void* disela – sela aluminium dan tembaga seperti yang ditunjukkan oleh lingkaran merah, hal ini terjadi akibat banyaknya volume aluminium yang terbuang akibat panas yang diterima aluminium terlalu tinggi sehingga aluminium terlalu cair. Hal ini mengakibatkan menurunnya nilai kekuatan tarik dari sambungan las.

d. Putaran *Spindle* 2257 (rpm)

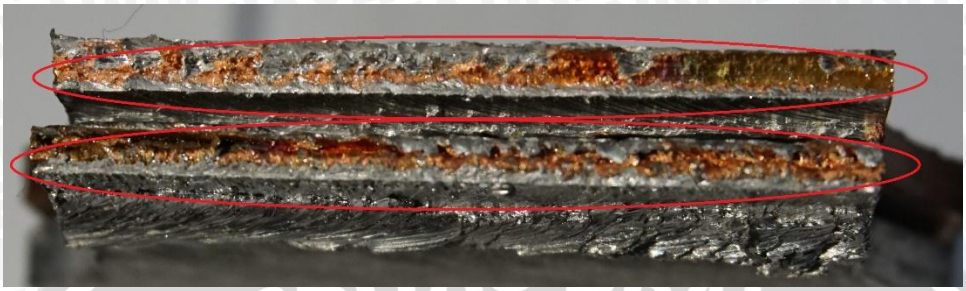


Gambar 4.6 Foto Makro Spesimen Setelah Uji Tarik Putaran *Spindle* 2257 RPM

Pada gambar 4.6 memperlihatkan bahwa pada putaran *spindle 2257* rpm mulai terjadi persebaran massa tembaga dan aluminium pada kedua sisi dikarenakan terlalu besarnya *heat input* saat proses pengelasan yang mengakibatkan kedua logam terlalu

cair. Serta dalam gambar juga terlihat banyaknya *void* atau rongga didalam sambungan las yang mengakibatkan awal dari patahan yang dapat menurunkan nilai kekuatan tarik sambungan las.

e. Putaran *Spindle* 2906 (rpm)



Gambar 4.7 Foto Makro Spesimen Setelah Uji Tarik Putaran *Spindle* 2906 RPM

Gambar 4.7 menunjukkan permukaan patahan pada putaran *spindle* 2906 rpm bahwa terjadinya persebaran aluminium dan tembaga dalam jumlah yang besar dimana hal ini dapat dilihat dari kedua sisi spesimen, aluminium banyak terisi oleh tembaga dan pada sisi tembaga banyak terisi oleh aluminium hal ini juga dibarengi dengan makin banyaknya *void* yang terjadi seperti yang ditunjukkan lingkaran merah. Hal ini dikarenakan kedua material ini tidak berikatan secara metalurgi namun hanya berikatan secara mekanik. Banyaknya *void* dapat mengakibatkan semakin rendahnya hasil kekuatan tarik sambungan las pada variasi putaran *spindle* 2906 rpm.