

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data uji tarik sambungan las

Pengambilan data menggunakan alat uji tarik setelah spesimen di lakukan pengelasan dan di bentuk spesimen uji tarik sesuai standart yang digunakan. Pada setiap perlakuan perlakuan pengelasan dilakukan tiga kali pengelasan dan tiga kali pengambilan data uji tarik dan nantinya di ambil rata – rata dari ketiga pengujian tersebut. Dengan variasi yang digunakan sesuai dengan rancangan penelitian yaitu *friction time* 90 detik, 120 detik, 150 detik, dan 180 detik dengan sudut *chamfer* 11,5⁰, 15⁰, 30⁰, dan 45⁰. Hasil uji kekuatan tarik disajikan pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Kekuatan tarik sambungan las gesek

<i>Friction time</i> (detik)	Sudut <i>chamfer</i> (⁰)	Kekuatan tarik (N/mm ²)			Kekuatan tarik rata – rata (N/mm ²)
		Pengulangan 1	Pengulangan 2	Pengulangan 3	
90 detik	11,5 ⁰	128,01	123,46	141,65	131,04
	15 ⁰	137,10	110,46	98,12	115,23
	30 ⁰	87,72	105,26	84,47	92,48
	45 ⁰	100,06	105,26	96,17	100,50
120 detik	11,5 ⁰	131,90	139,05	115,01	128,65
	15 ⁰	64,98	63,03	81,94	69,98
	30 ⁰	103,96	116,96	113,06	111,33
	45 ⁰	62,38	79,27	76,02	72,56
150 detik	11,5 ⁰	80,08	84,02	95,58	86,56
	15 ⁰	116,31	102,66	104,15	107,71
	30 ⁰	106,56	133,82	142,39	127,59
	45 ⁰	94,17	110,83	85,77	96,92
180 detik	11,5 ⁰	98,77	106,56	111,47	105,60
	15 ⁰	74,07	85,04	94,81	84,64
	30 ⁰	130,04	119,56	133,86	127,82
	45 ⁰	102,86	103,14	101,15	102,38

4.2 Perhitungan statistik

4.2.1 Interval penduga

Pada penelitian ini, langkah awal dalam pengolahan data adalah melakukan metode uji t terlebih dahulu, dengan tujuan untuk mengetahui adanya kesalahan nilai atau data yang di dapat pada saat pengujian kekuatan tarik.

Contoh perhitungan *friction time* 90 detik dan sudut *chamfer* 11,5°

- Data rata – rata

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{128,01 + 123,46 + 141,65}{3} = 131,04 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

- Standar deviasi

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{179,30}{3 - 1}} \\ &= 9,47\end{aligned}$$

- Inteval penduga

$$\bar{x} - \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \frac{\delta}{\sqrt{n}} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \frac{\delta}{\sqrt{n}} \right]$$

$$db = n - 1$$

$$= 3 - 1 = 2$$

Dari tabel uji t dengan mengambil $\alpha = 5\%$ dapat di ketahui

$$t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) = t (0,025 ; 2) = 4,303$$

maka

$$131,04 - \left[(4,303) \cdot \frac{9,47}{\sqrt{3}} \right] < \mu < 131,04 + \left[(4,303) \cdot \frac{9,47}{\sqrt{3}} \right]$$

$$131,04 - [23,54] < \mu < 131,04 + [23,54]$$

$$107,49 < \mu < 154,59$$

Jadi interval penduga kekuatan tarik sambungan las dengan *friction time* 90 detik dan sudut *chamfer* 11,5° didapatkan 107,49 N/mm² sampai 154,59 N/mm² dengan tingkat keyakinan 95%. Berikutnya untuk variasi berikut di dajikan dalam tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Interval penduga kekuatan tarik

<i>friction time</i>	sudut <i>chamfer</i>			
	11,5 ⁰	15 ⁰	30 ⁰	45 ⁰
90 detik	$107,49 \leq x \leq 154,59$	$65,67 \leq x \leq 164,79$	$64,66 \leq x \leq 120,31$	$89,14 \leq x \leq 111,85$
120 detik	$97,95 \leq x \leq 159,36$	$44,11 \leq x \leq 95,85$	$94,74 \leq x \leq 127,91$	$50,26 \leq x \leq 94,85$
150 detik	$60,56 \leq x \leq 115,10$	$89,09 \leq x \leq 126,33$	$81,06 \leq x \leq 174,12$	$65,20 \leq x \leq 128,64$
180 detik	$89,67 \leq x \leq 121,53$	$58,84 \leq x \leq 110,44$	$109,41 \leq x \leq 146,23$	$99,70 \leq x \leq 105,07$

4.2.2 Anova

Setelah data dari hasil uji tarik didapat kemudian akan dilakukan pengujian statistik untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh antara variasi lebar celah dan kecepatan putar terhadap kekuatan tarik sambungan las aluminium. Sebelumnya akan dibuat hipotesa terlebih dahulu dan data hasil dari pengujian tarik akan dimasukkan kedalam tabel yang dapat dilihat pada tabel 4.3

Hipotesa:

H_0 *friction time* : Tidak ada pengaruh *friction time* terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek.

H_1 *friction time* : Ada pengaruh *friction time* terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek sekurang – kurangnya satu.

H_0 sudut *chamfer* : Tidak ada pengaruh sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek.

H_1 sudut *chamfer* : Ada pengaruh sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek sekurang – kurangnya satu.

H_0 interaksi : Tidak ada pengaruh antara *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek.

H_1 interaksi : Ada pengaruh antara *friction time* dan sudut *chmafer* satu sisi terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek sekurang – kurangnya satu.

Data statistika induk dapat kita lihat pada tabel 4.3 berikut :

Tabel 4. 3 Data statistika induk Anova kekuatan tarik

variabel		pengulangan	sudut <i>chamfer</i> ($^{\circ}$)				total baris
			11,5 $^{\circ}$	15 $^{\circ}$	30 $^{\circ}$	45 $^{\circ}$	
<i>Friction time</i> (detik)	90 detik	1	128.01	137.10	87.72	100.06	452.89
		2	123.46	110.46	105.26	105.26	444.44
		3	141.65	98.12	84.47	96.17	420.40
		Σ	393.11	345.68	277.45	301.49	1317.73
	120 detik	1	131.90	64.98	103.96	62.38	363.22
		2	139.05	63.03	116.96	79.27	398.31
		3	115.01	81.94	113.06	76.02	386.03
		Σ	385.96	209.95	333.98	217.68	1147.57
	150 detik	1	80.08	116.31	106.56	94.17	397.12
		2	84.02	102.66	133.82	110.83	431.33
		3	95.58	104.15	142.39	85.77	427.89
		Σ	259.68	323.12	382.76	290.77	1256.33
180 detik	1	98.77	74.07	130.04	102.86	405.75	
	2	106.56	85.04	119.56	103.14	414.30	
	3	111.47	94.81	133.85	101.15	441.28	
	Σ	316.79	253.92	383.46	307.15	1261.32	
Σ total			1355.55	1132.67	1377.66	1117.08	4982.96

- Hitunglah jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2 - \frac{T^2 \dots}{rcn}$$

$$JKT = 538042,33 - \frac{24829854,50}{48} = 20753,69$$

- Hitunglah jumlah kuadrat *friction time* (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T^2 \dots}{cn} - \frac{T^2 \dots}{rcn}$$

$$JKA = 518553,28 - \frac{24829854,50}{48} = 1264,65$$

- Hitunglah jumlah kuadrat sudut *chamfer* (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T^2 \cdot j}{rn} - \frac{T^2 \dots}{rcn}$$

$$JKB = 522188,45 - \frac{24829854,50}{48} = 4899,82$$

- Hitunglah jumlah kuadrat interaksi antara *friction time* dan sudut *chamfer* JK(AB)

$$JK(AB) = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T^2_{ij}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^r T^2_{i..}}{cn} - \frac{\sum_{j=1}^c T^2_{.j}}{rn} + \frac{T^2_{...}}{rcn}$$

$$JK(AB) = \frac{534329,84}{3} - \frac{518553,28}{12} - \frac{522188,45}{12} + \frac{24829854,50}{48}$$

$$= 10876,75$$

- Hitunglah jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKB - JKK - JK(BK)$$

$$= 20753,69 - 1264,65 - 4899,82 - 10876,75 = 3712,49$$

- Mencari derajat bebas (dbr;dbc;dbrc;dbd;dbt)

$$\begin{aligned} \text{dbr (friction time)} &= r - 1 \\ &= 4 - 1 = 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dbc (sudut chamfer)} &= c - 1 \\ &= 4 - 1 = 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dbrc (interaksi)} &= \text{dbr} \times \text{dbc} \\ &= 3 \times 3 = 9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dbd (galat)} &= r \times c \times n - (r \times c) \\ &= 4 \times 4 \times 3 - (4 \times 4) \\ &= 32 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dbt} &= r \times c \times n - 1 \\ &= 4 \times 4 \times 3 - 1 = 47 \end{aligned}$$

- Menghitung kuadrat Tengah ($S_1^2, S_2^2, S_3^2, S_4^2$)

$$\begin{aligned} s_1^2 &= \frac{JKA}{r - 1} \\ &= \frac{1264,65}{4 - 1} = 421,55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_2^2 &= \frac{JKB}{c - 1} \\ &= \frac{4899,82}{4 - 1} = 1633,27 \end{aligned}$$

$$s_3^2 = \frac{JK(AB)}{(c - 1)(r - 1)}$$

$$= \frac{10876,75}{(4-1) \times (4-1)} = 1208,53$$

$$s_4^2 = \frac{JKG}{r \times c \times n - (r \times c)}$$

$$= \frac{3713,22}{4 \times 4 \times 3 - (4 \times 4)} = 116,04$$

- Carilah F_{hitung} ($F_1; F_2; F_3$) masing – masing group

$$F_1 = \frac{s_1^2}{s_4^2} = \frac{421,55}{116,04} = 3,63$$

$$F_2 = \frac{s_2^2}{s_4^2} = \frac{1633,27}{116,04} = 14,08$$

$$F_3 = \frac{s_3^2}{s_4^2} = \frac{1208,53}{116,04} = 10,42$$

- Menentukan taraf signifikan $\alpha = 0,05$, dapat dilihat pada tabel distribusi f (lampiran 5)

$$F_{1tabel} = 2,90$$

$$F_{2tabel} = 2,90$$

$$F_{3tabel} = 2,19$$

- Tabel ringkasan anova

Tabel 4. 4 Ringkasan Anova

Sumber keterangan	jumlah kuadrat	derajat bebas	kuadrat tengah	f hitung	f tabel
JK <i>friction time</i> (A)	1264.65	3	421.55	3.63	2,9
JK sudut <i>chamfer</i> (B)	4899.82	3	1633.27	14.08	2,9
JK (AB)	10876.75	9	1208.53	10.42	2,19
JKG	3712.49	32	116.02		
JKT	20753.69	47			

- Kesimpulan

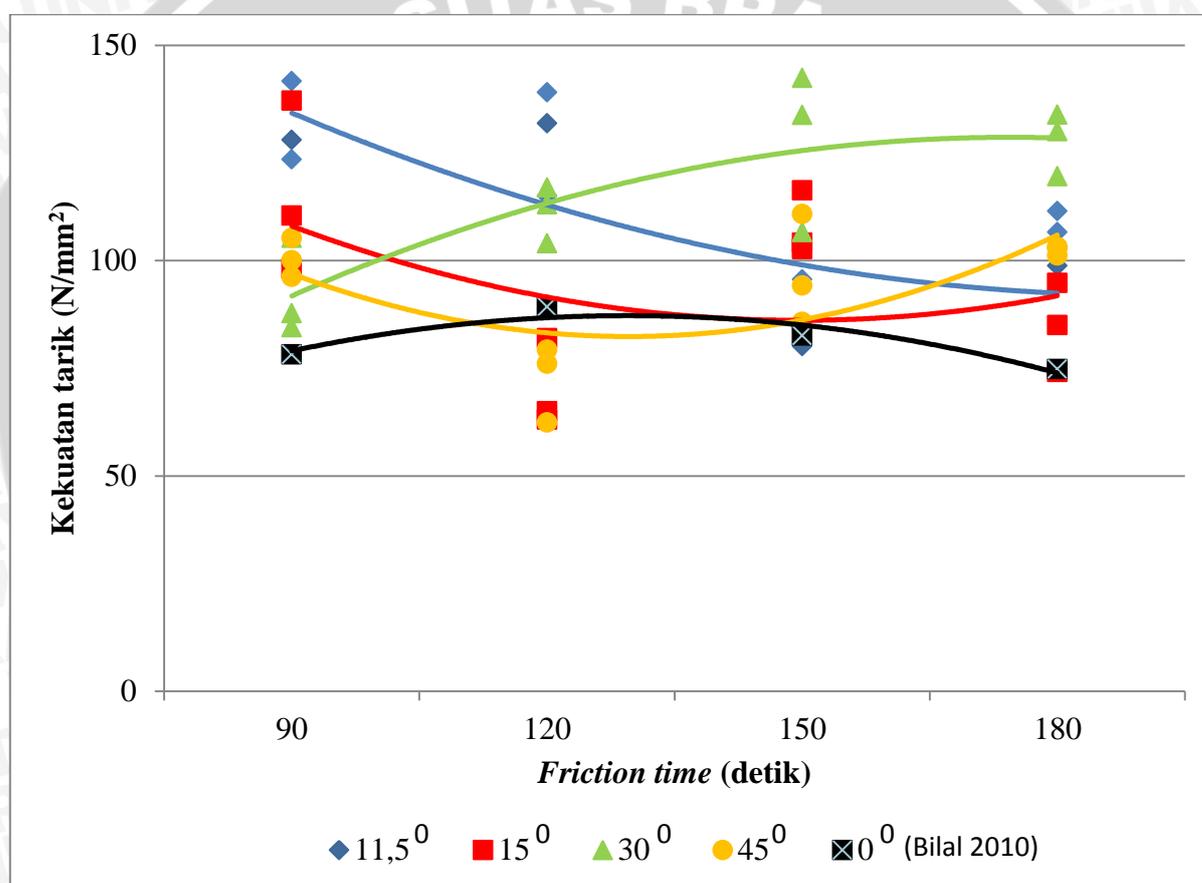
1. F_1 (hitung) > F_1 (tabel) atau $3,63 > 2,90$. Karena harga F_1 (hitung) lebih besar dari F_1 (tabel) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya ada pengaruh *friction time* terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek sekurang – kurangnya satu.
2. F_2 (hitung) > F_2 (tabel) atau $14,08 > 2,90$. Karena harga F_2 (hitung) lebih besar dari F_2 (tabel) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya ada pengaruh sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek sekurang – kurangnya satu.

3. F_3 (hitung) $>$ F_3 (tabel) atau $10,42 > 2,19$. Karena harga F_3 (hitung) lebih besar dari F_3 (tabel) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya ada interaksi pengaruh antara *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek sekurang – kurangnya satu.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Hubungan *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan tarik sambungan.

Grafik hubungan *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan tarik sambungan las dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik hubungan *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan tarik sambungan las.

Pada grafik hubungan *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan tarik sambungan las pada Al – Mg – Si dapat dilihat bahwa semakin lama *friction time* dengan sudut *chamfer* satu sisi pada sudut 11,5° dan 15° kecenderungan kekuatan tarik semakin menurun. Namun pada penggunaan sudut *chamfer* 30° dan 45° semakin lama *friction time* kecenderungan kekuatan tarik sambungan las semakin naik.

Jika dibandingkan dengan penggunaan *chamfer* 0^0 (bilal, 2010) dengan *friction time* yang sama kekuatan tarik sambungan pada penggunaan sudut *chamfer* satu sisi lebih besar dari pada tanpa *chamfer*.

Sehingga *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las. Dimana pada sudut $11,5^0$ dan 15^0 , semakin kecil *friction time* maka kekuatan tarik sambungan semakin besar dan pada sudut *chamfer* 30^0 dan 45^0 *friction time* yang semakin lama akan meningkatkan kekuatan tarik sambungan las.

Pada variasi sudut *chamfer* $11,5^0$ dengan *friction time* 90 detik, 120 detik, 150 detik, dan 180 detik, nilai kekuatan tarik yaitu $131,04 \text{ N/mm}^2$, kemudian terjadi penurunan kekuatan tarik pada *friction time* 120 detik yaitu $128,65 \text{ N/mm}^2$ dan 150 detik yaitu $87,83 \text{ N/mm}^2$, lalu terjadi kenaikan kekuatan tarik pada *friction time* 180 detik yaitu $105,60 \text{ N/mm}^2$. Pada variasi sudut *chamfer* 15^0 dengan *friction time* 90 detik, 120 detik, 150 detik, dan 180 detik, nilai kekuatan tarik yaitu $115,23 \text{ N/mm}^2$, kemudian terjadi penurunan kekuatan tarik pada *friction time* 120 detik yaitu $69,98 \text{ N/mm}^2$, lalu terjadi kenaikan kekuatan tarik pada *friction time* 150 detik yaitu $107,71 \text{ N/mm}^2$, kemudian turun lagi pada *friction time* 180 detik yaitu $84,64 \text{ N/mm}^2$.

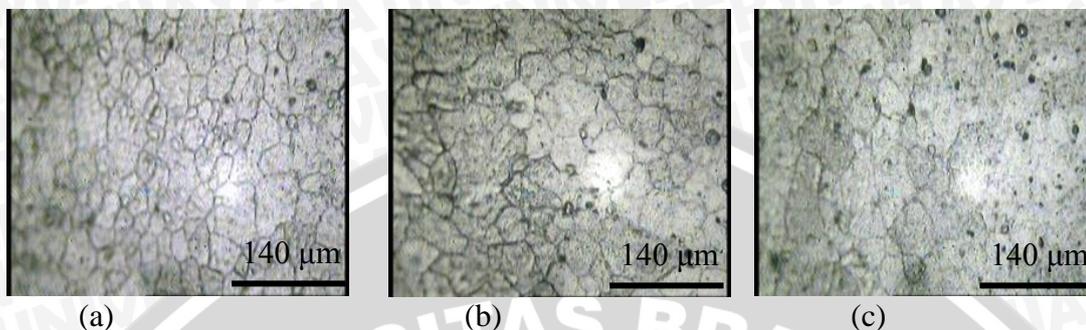
Pada variasi sudut *chamfer* 30^0 dengan *friction time* 90 detik, 120 detik, 150 detik, dan 180 detik, nilai kekuatan tarik yaitu $92,48 \text{ N/mm}^2$, kemudian terjadi peningkatan kekuatan tarik pada *friction time* 120 detik yaitu $111,33 \text{ N/mm}^2$ dan pada *friction time* 150 detik yaitu $127,59 \text{ N/mm}^2$, lalu terjadi penurunan pada *friction time* 180 detik yaitu $127,82 \text{ N/mm}^2$. Pada variasi sudut *chamfer* 45^0 dengan *friction time* 90 detik, 120 detik, 150 detik, dan 180 detik, nilai kekuatan tarik yaitu $100,50 \text{ N/mm}^2$, kemudian terjadi penurunan kekuatan tarik pada *friction time* 120 detik yaitu $72,56 \text{ N/mm}^2$ kemudian terjadi peningkatan kekuatan tarik pada *friction time* 150 detik yaitu $96,92 \text{ N/mm}^2$ dan *friction time* 180 detik yaitu $102,38 \text{ N/mm}^2$.

4.3.2 Analisa luasan daerah lasan

Lin dkk menemukan bahwa SFW sambungan las terdiri dari *fully plasticized zone* (ZPL), *partly deformed zone* (ZPD), dan *undeformed zone* (Zud). *Fully plasticized zone* (ZPL) adalah daerah sambungan yang menyatu. *Partly deformed zone* (ZPD) zona yang mengalami sebagian deformasi dan Terkena Dampak Zone (HAZ). *Undeformed zone* (Zud) adalah zona yang tidak cacat dan tidak terpengaruh oleh panas.

Fully plasticized zone (ZPL), *partly deformed zone* (ZPD), dan *undeformed zone* (Zud) dapat di tentukan berdasarkan ukuran butir. Dimana *fully plasticized zone* (Zpl) memiliki ukuran butir yang kecil dibandingkan zona yang lainnya. Selanjutnya *partly*

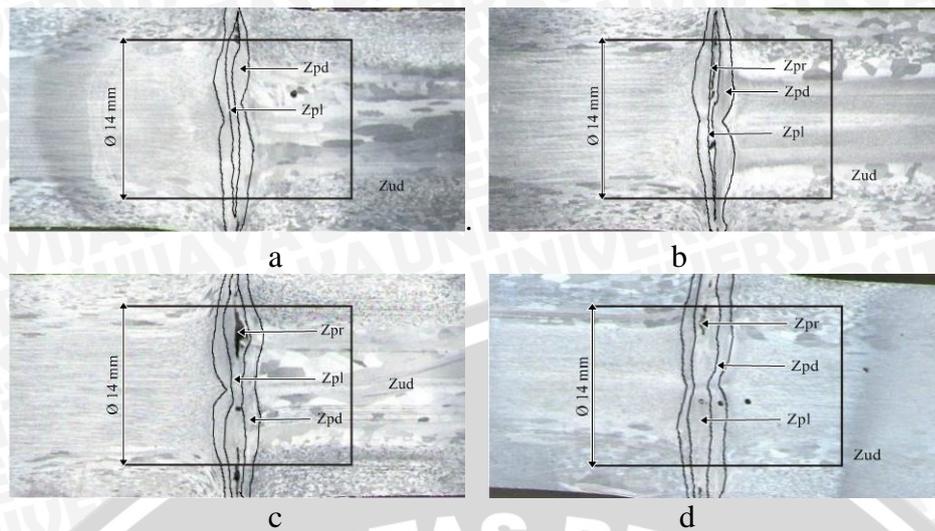
deformed zone (Zpd) yang memiliki ukuran butir yang lebih kecil dari pada daerah *undeformed zone* (Zud). Dalam hal ini dibuktikan dari hasil penelitian yang dilakukan Gumilang (2014). Hasil foto mikrostruktur pada gambar 4.2 dapat dilihat ukuran butir dari masing – masing daerah tersebut.



Gambar 4. 2 Hasil foto mikrostruktur 400x pada sudut *chamfer* 11,5 *friction time* 90 detik (a) Zpl (b) Zpd (c) Zud.

Daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl), *Partly Deformed Zone* (Zpd) atau HAZ, *Undeformed Zone* (Zud) juga dapat kita tentukan berdasarkan kekerasan dari masing – masing daerah tersebut. Dimana daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl) memiliki kekerasan yang paling tinggi dari pada daerah yang lain. Selanjutnya daerah *partly deformed zone* (Zpd) yang memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan daerah *undeformed zone* (Zud). Daerah *undeformed zone* (Zud) memiliki kekerasan yang paling rendah dari pada daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl), *Partly Deformed Zone* (Zpd) atau HAZ. Dalam hal ini dibuktikan dari hasil penelitian yang dilakukan Gumilang (2014), daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl) memiliki kekerasan yang paling tinggi, selanjutnya daerah *partly deformed zone* (Zpd), dan Daerah *undeformed zone* (Zud) memiliki kekerasan yang paling rendah.

Dengan hasil foto makrostruktur luasan daerah tersebut di ukur menggunakan *software* grafis pada diameter 14 mm sesuai dengan standart uji tarik yang digunakan seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Foto makrostruktur *friction time* 90 detik a) sudut *chamfer* 11,5⁰ b) sudut *chamfer* 15⁰ c) sudut *chamfer* 30⁰ d) sudut *chamfer* 45⁰.

Tabel 4. 5 Luasan daerah las

Waktu (detik)	Sudut Chamfer (°)	Zpd (mm ²)	Zpl (mm ²)	Zpr (mm ²)
90 detik	11,5°	35,43	11,20	0,15
	15°	39,51	8,12	0,33
	30°	52,20	21,22	2,77
	45°	50,35	24,22	1,05
120 detik	11,5°	39,73	21,14	0,63
	15°	49,71	13,93	0,26
	30°	41,99	11,40	0
	45°	39,80	13,34	0
150 detik	11,5°	43,63	13,95	1,17
	15°	54,27	27,38	0,2
	30°	37,63	14,49	0,36
	45°	54,70	15,93	0
180 detik	11,5°	44,39	15,51	0,20
	15°	40,01	13,30	0,44
	30°	30,64	8,16	0
	45°	50,13	18,66	0,94

Menurut Lin, *et all* (1999), semakin luas daerah *Fully plasticized zone* (Zpl) maka sambungan yang terbentuk akan semakin baik dan kekuatan tariknya tinggi. Sindokou (2002), semakin besar luas HAZ yang terbentuk maka kekuatannya akan semakin berkurang. Irawan *et all* (2012), semakin besar *Fully plasticized zone* (Zpl) dan semakin kecil daerah yang terkena dampak panas dan porositas kecil maka kekuatan tarik sambungan las semakin besar.

Pada sudut *chamfer* $11,5^{\circ}$ *friction time* 90 detik, 120 detik, 150 detik, dan 180 detik kekuatan tarik tertinggi pada *friction time* 90 detik dan terendah pada *friction time* 150 detik. Hal ini disebabkan karena pada *friction time* 90 detik luas daerah *partly deformed* (Zpd) yang kecil yaitu $35,43 \text{ mm}^2$. Pada *friction time* 150 detik luasan daerah *partly deformed* (Zpd) yaitu $43,63 \text{ mm}^2$ jika dibandingkan dengan *friction time* 180 luasan daerah *partly deformed* (Zpd) lebih besar yaitu $44,39 \text{ mm}^2$. Namun kekuatan tariknya lebih tinggi dari pada *friction time* 150 detik hal ini disebabkan karena adanya porositas dimana luas *porosity zone* (Zpr) yaitu $1,17 \text{ mm}^2$ sehingga kekuatan tarik sambungan las lebih rendah.

Pada sudut *chamfer* 15° *friction time* 90 detik, 120 detik, 150 detik, dan 180 detik kekuatan tarik tertinggi pada *friction time* 90 detik dan terendah pada *friction time* 120 detik. Hal ini disebabkan karena pada *friction time* 90 detik luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) yang lebih kecil yaitu $39,51 \text{ mm}^2$. Pada *friction time* 120 detik luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) lebih kecil dari pada *friction time* 150 detik yaitu $49,71 \text{ mm}^2$ tetapi kekuatan tariknya lebih rendah dari pada *friction time* 150 detik. Hal ini disebabkan karena luas daerah *fully plasticized* (Zpl) pada *friction time* 150 detik lebih besar yaitu $27,38 \text{ mm}^2$. Sehingga kekuatan tariknya lebih tinggi pada *friction time* 150 detik dari pada *friction time* 120 detik.

Pada sudut *chamfer* 30° *friction time* 90 detik, 120 detik, 150 detik, dan 180 detik kekuatan tarik tertinggi pada *friction time* 180 detik dan terendah pada *friction time* 90 detik. Hal ini disebabkan karena pada *friction time* 180 detik luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) yang lebih kecil yaitu $30,64 \text{ mm}^2$. Pada *friction time* 90 detik luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) yaitu $52,20 \text{ mm}^2$ dan terdapat porositas yang lebih besar dengan luas *porosity zone* (Zpr) yaitu $2,77 \text{ mm}^2$. Sehingga kekuatan tariknya lebih rendah dari pada *friction time* 120 detik, 150 detik, dan 180 detik.

Pada sudut *chamfer* 45° *friction time* 90 detik, 120 detik, 150 detik, dan 180 detik kekuatan tarik tertinggi pada *friction time* 180 detik dan terendah pada *friction time* 120 detik. Hal ini disebabkan karena pada *friction time* 180 detik memiliki luas

daerah *fully plasticized zone* (Zpl) yang lebih besar yaitu $18,66 \text{ mm}^2$ jika dibandingkan dengan *friction time* 120 detik yang memiliki luas daerah *fully plasticized zone* (Zpl) yang kecil yaitu $13,34 \text{ mm}^2$. Sehingga kekuatan tarik tertinggi pada *friction time* 180 detik dan terendah pada *friction time* 120 detik.

Pada *friction time* 90 detik dengan sudut *chamfer* $11,5^\circ$, 15° , 30° , dan 45° kekuatan tarik tertinggi pada sudut *chamfer* $11,5^\circ$ dan terendah pada sudut *chamfer* 30° . Hal ini disebabkan karena pada sudut *chamfer* $11,5^\circ$ luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) yang kecil yaitu $35,43 \text{ mm}^2$. Sedangkan pada sudut *chamfer* 30° luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) besar yaitu $52,20 \text{ mm}^2$. Selain luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) yang besar juga terdapat porositas dengan luas daerah *porosity zone* (Zpr) yaitu $2,77 \text{ mm}^2$. Sehingga kekuatan tarik pada sudut *chamfer* 30° lebih rendah pada sudut *chamfer* yang lain.

Pada *friction time* 120 detik dengan sudut *chamfer* $11,5^\circ$, 15° , 30° , dan 45° kekuatan tarik tertinggi pada sudut *chamfer* $11,5^\circ$ dan terendah pada sudut *chamfer* 15° . Hal ini disebabkan karena pada sudut *chamfer* $11,5^\circ$ luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) yang kecil yaitu $39,73 \text{ mm}^2$ dan memiliki luas daerah *fully plasticized zone* (Zpl) yang besar yaitu $21,14 \text{ mm}^2$. Sehingga memiliki kekuatan tarik tertinggi pada *friction time* 120 detik. Sedangkan pada sudut *chamfer* 15° luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) lebih luas yaitu $49,71 \text{ mm}^2$ sehingga kekuatan tarik terendah.

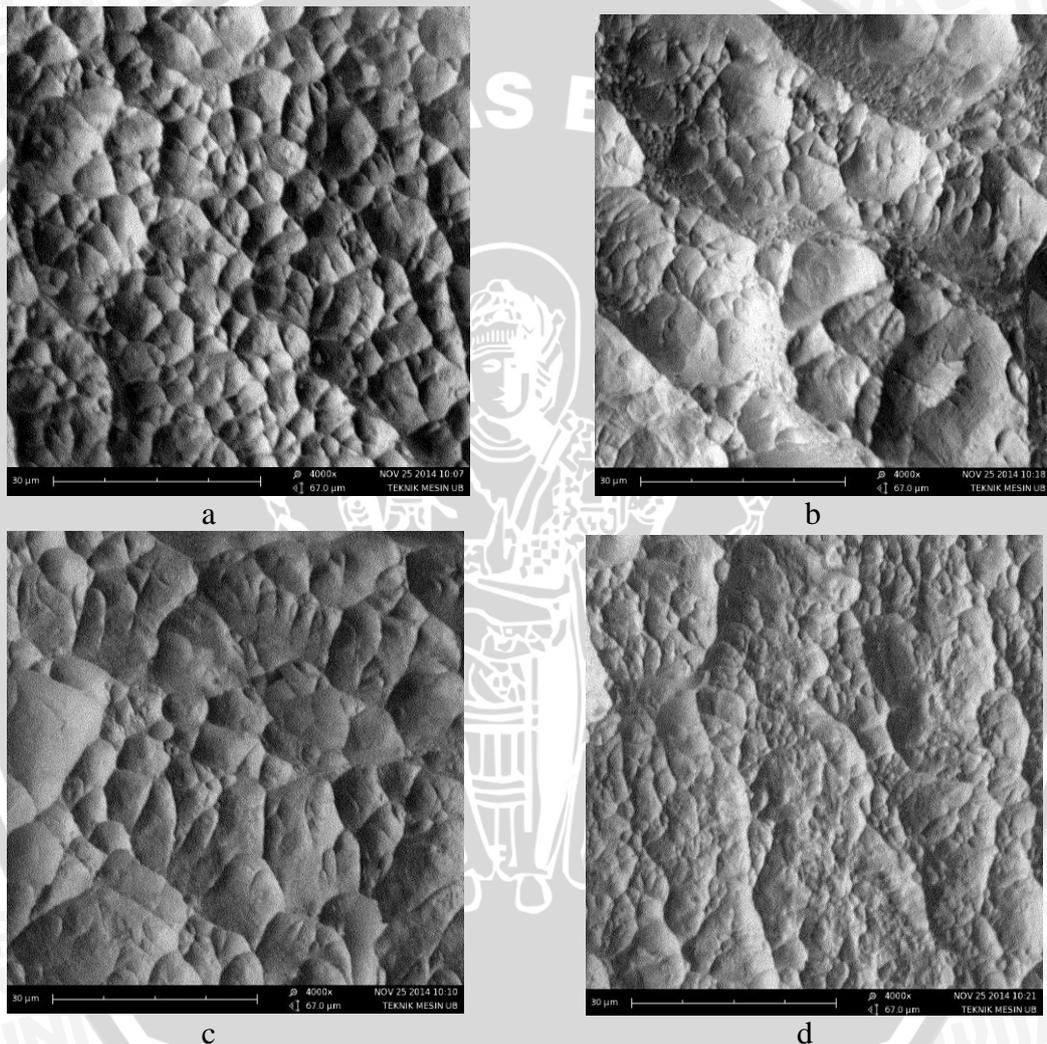
Pada *friction time* 150 detik dengan sudut *chamfer* $11,5^\circ$, 15° , 30° , dan 45° kekuatan tarik tertinggi pada sudut *chamfer* 30° dan terendah pada sudut *chamfer* $11,5^\circ$. Hal ini disebabkan karena pada sudut *chamfer* 30° luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) yang kecil yaitu $37,63 \text{ mm}^2$. Sehingga memiliki kekuatan tarik tertinggi pada *friction time* 150 detik. Sedangkan pada sudut *chamfer* $11,5^\circ$ luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) lebih kecil dari pada sudut *chamfer* 15° dan 45° yaitu $43,63 \text{ mm}^2$ tetapi memiliki kekuatan tarik yang terendah. Hal ini disebabkan kerana luas daerah *fully plasticized zone* (Zpl) yang kecil dan juga adanya porositas dengan luas *porosity zone* (Zpr) yaitu $1,17 \text{ mm}^2$. Sehingga kekuatan tarik terendah pada *friction time* 150 detik.

Pada *friction time* 180 detik dengan sudut *chamfer* $11,5^\circ$, 15° , 30° , dan 45° kekuatan tarik tertinggi pada sudut *chamfer* 30° dan terendah pada sudut *chamfer* 15° . Hal ini disebabkan karena pada sudut *chamfer* 30° luas daerah *partly deformed zone* (Zpd) yang kecil yaitu $30,64 \text{ mm}^2$. Sehingga memiliki kekuatan tarik tertinggi pada *friction time* 180 detik. Sedangkan pada sudut *chamfer* 15° memiliki luas daerah *partly*

deformed zone (Zpd) yaitu $40,01 \text{ mm}^2$, luas daerah *fully plasticized zone* yang kecil dari pada sudut *chamfer* $11,5^\circ, 30^\circ$, dan 45° yaitu $13,30 \text{ mm}^2$, dan luas daerah *porosity zone* (Zpr) yaitu $0,44 \text{ mm}^2$. Sehingga memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah pada *friction time* 180 detik.

4.3.3 Hasil uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

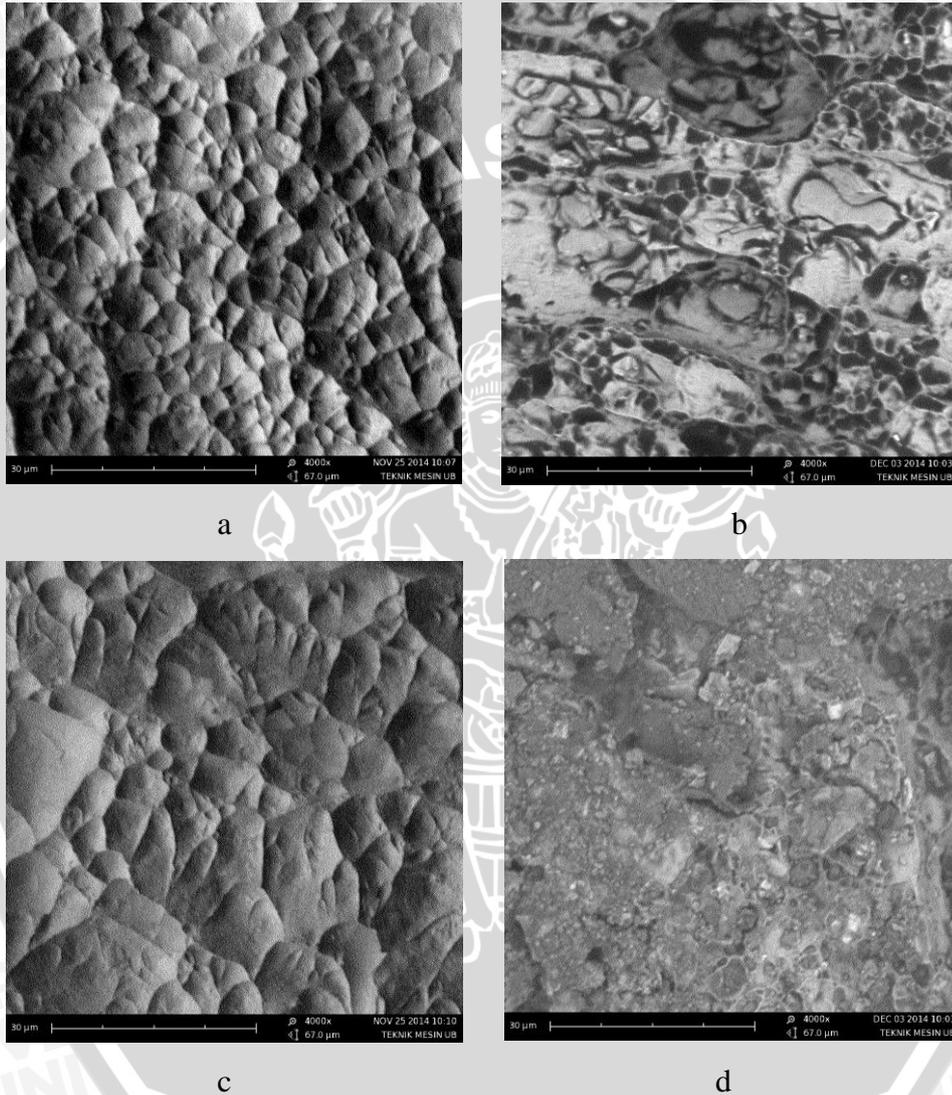
Di bawah ini merupakan hasil foto SEM dengan variasi sudut *chamfer* $11,5^\circ$ dengan *friction time* 90 detik yang memiliki kekuatan tarik tertinggi dan terendah dengan perbesaran 4000x.



Gambar 4. 4 Hasil Foto Sem perbesaran 4000x *friction time* 90 detik a) sudut *chamfer* $11,5^\circ$ daerah tengah, b) sudut *chamfer* 30° daerah tengah, c) sudut *chamfer* $11,5^\circ$ daerah pinggir, d) sudut *chamfer* 30° daerah pinggir.

Pada gambar 4.4 dapat kita lihat bentuk patahan dari spesimen uji pada *friction time* 90 detik yang memiliki kekuatan tarik tertinggi dan terendah. Pada gambar terlihat bahwa jenis patahan yang terjadi pada kedua variasi tersebut adalah patahan getas.

Dimana pada spesimen dengan sudut *chamfer* $11,5^{\circ}$ terlihat terlihat struktur butir yang kecil dan rapat dibandingkan dengan sudut *chamfer* 30° yang memiliki struktur butir yang besar. Hal ini disebabkan karena pada sudut *chamfer* $11,5^{\circ}$ *heat inputnya* lebih kecil dari pada sudut *chamfer* 30° . Pada saat mengalami pendinginan pada sudut *chamfer* $11,5^{\circ}$ lebih cepat dari pada sudut *chamfer* 30° sehingga struktur butir yang terbentuk lebih kecil dari pada sudut *chamfer* 30° . Sehingga pada sudut *chamfer* $11,5^{\circ}$ memiliki kekuatan tarik yang tertinggi di bandingkan dengan sudut *chamfer* 30° .



Gambar 4. 5 Hasil Foto Sem perbesaran 4000x a) sudut *chamfer* $11,5^{\circ}$ daerah tengah *friction time* 90 detik, b) sudut *chamfer* 15° daerah tengah *friction time* 120 detik, c) sudut *chamfer* $11,5^{\circ}$ daerah pinggir *friction time* 90 detik, d) sudut *chamfer* 15° daerah pinggir *friction time* 120 detik.

Dari gambar 4.5 hasil foto SEM pada spesimen yang memiliki kekuatan tarik tertinggi dan terendah dari semua variasi menunjukkan perbedaan dari struktur patahan tersebut. Dimana pada sudut *chamfer* $11,5^{\circ}$ *friction time* 90 detik struktur patahan

menunjukkan patahan yang getas dibandingkan struktur patahan pada sudut *chamfer* 15° *friction time* 120 detik menunjukkan patahan yang ulet. Pada sudut *chamfer* $11,5^{\circ}$ *friction time* 90 detik memiliki kekuatan tertinggi dan pada sudut *chamfer* 15° *friction time* 120 detik memiliki kekuatan tarik terendah.

