

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengolahan Data

#### 4.1.1 Pengujian Tarik

Pendataan hasil pengujian kekuatan tarik diambil sesudah dilakukannya proses las gesek pada seluruh spesimen, kemudian spesimen-spesimen tersebut dibentuk menjadi spesimen untuk pengujian tarik yang telah disesuaikan dengan standar AWS (*American Welding Society*), dan kemudian pengujian kekuatan tarik dilakukan pada mesin pengujian tarik. Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap variasinya dan kemudian dihitung nilai rata-ratanya dari ketiga pengulangan tersebut. Variasi yang dipakai adalah *upset force* 7 kN, 14 kN, dan 21 kN dengan sudut *chamfer* 15° dan tanpa *chamfer*. Berikut ini adalah data hasil dari pengujian kekuatan tarik yang telah dilakukan.

*Tabel 4.1*  
Hasil Pengujian Tarik

<i>Chamfer</i>	<i>Upset Force</i> (kN)	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Tarik Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi	Standar Deviasi (%)
Tanpa <i>Chamfer</i>	7	210,74	219,87	9,13	4%
		229,00			
		219,87			
	14	223,12	223,16	10,61	5%
		233,78			
		212,57			
21	245,73	239,20	6,09	3%	
	238,19				
	233,67				
15°	7	200,43	203,64	9,76	5%
		214,60			
		195,88			
	14	224,63	222,37	3,28	1%
		223,87			
		218,60			
21	246,49	234,18	12,44	5%	
	221,61				
	234,43				
Logam Induk A6061		316,71	316,71	-	-

### 4.1.2 Pengujian Porositas

Pengambilan data porositas dilakukan setelah proses pengelasan gesek pada semua spesimen. Kemudian spesimen dihilangkan terlebih dahulu *flash*nya dan dibentuk spesimen dengan panjang 20 mm dan diameter 13 mm, lalu dilakukan pengujian porositas dengan uji piknometri dan uji komposisi. Variasi yang digunakan adalah *upset force* 7 kN, 14 kN, dan 21 kN dengan sudut *chamfer* 15° dan tanpa *chamfer*. Berikut ini adalah data hasil dari pengujian porositas yang telah dilakukan.

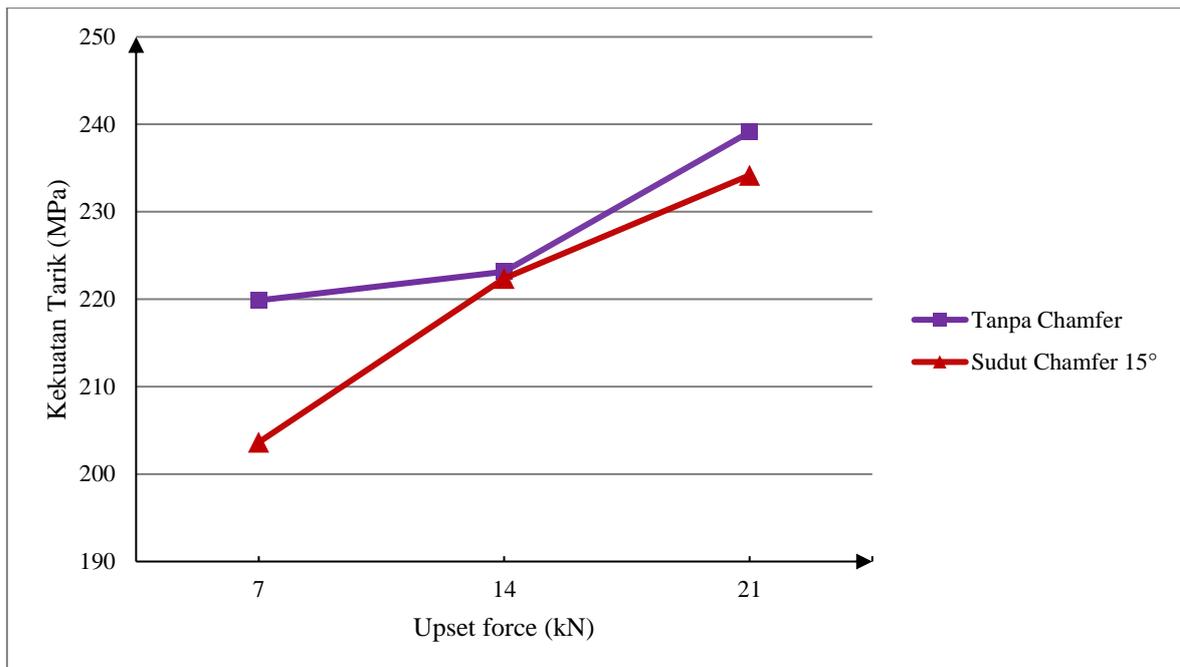
Tabel 4.2  
Hasil Pengujian Porositas

<i>Chamfer</i>	<i>Upset Force</i> (kN)	Berat di Udara (gram)	Berat di Air (gram)	<i>True</i> <i>Density</i>	<i>Apparent</i> <i>Density</i>	% Porositas
Tanpa <i>Chamfer</i>	7	6,77	4,26	2,7431	2,6891	1,967
	14	7,01	4,43	2,7431	2,7089	1,246
	21	7,05	4,46	2,7431	2,7138	1,066
15°	7	6,55	4,12	2,7431	2,6874	2,031
	14	6,87	4,33	2,7431	2,6966	1,694
	21	7,02	4,44	2,7431	2,7128	1,105

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Kekuatan Tarik

Setelah mendapatkan hasil dari pengujian tarik pada tabel 4.1, lalu data tersebut diubah ke dalam bentuk grafik hubungan antara *upset force* dan sudut *chamfer* terhadap kekuatan tarik.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara *Upset Force* terhadap Kekuatan Tarik pada Variasi Sudut *Chamfer*

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa variasi *upset force* dan sudut *chamfer* mempengaruhi kekuatan tarik sambungan las. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tarik rata-rata tertingginya terdapat pada spesimen dengan variasi *upset force* 21 kN dan tanpa *chamfer*, dan kekuatan tarik rata-rata terendahnya terdapat pada spesimen dengan variasi *upset force* 7 kN dan sudut *chamfer* 15°.

Pada variasi sudut *chamfer* 15° dan tanpa *chamfer* masing-masing memiliki tiga variasi *upset force* yaitu 7 kN, 14 kN, dan 21 kN. Pada variasi tanpa *chamfer* dengan *upset force* 7 kN memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 219,87 MPa, lalu pada variasi *upset force* 14 kN memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 223,17 MPa, dan pada variasi *upset force* 21 kN memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 239,20 MPa. Sedangkan pada variasi sudut *chamfer* 15° dengan *upset force* 7 kN memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 203,64 MPa, lalu pada variasi *upset force* 14 kN memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 222,37 MPa, dan pada variasi *upset force* 21 kN memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 234,18 MPa.

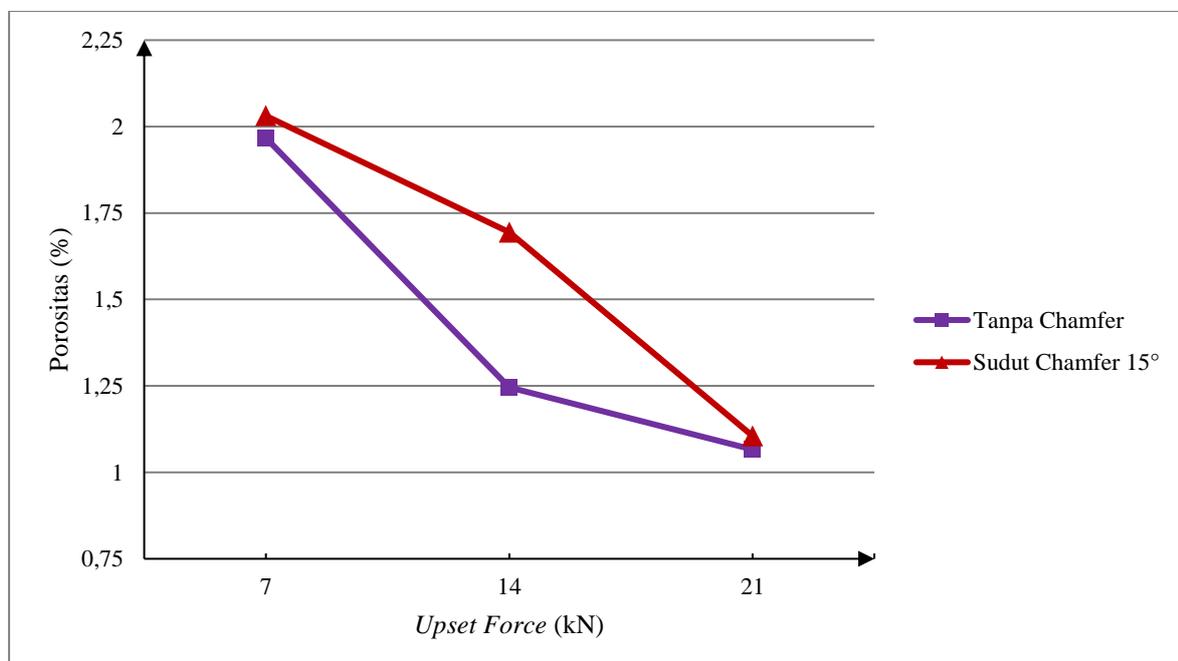
Dari grafik di atas dapat dilihat kecenderungan bahwa semakin tinggi *upset force* maka kekuatannya juga semakin tinggi, hal ini disebabkan karena seiring dengan meningkatnya *upset force* maka material yang mengalami selip akan semakin dalam dan memecah butiran logam lebih banyak, dan mengakibatkan ukuran butir pada sambungan las semakin kecil serta ikatan butir pada sambungan las juga semakin baik, sehingga kekuatannya juga semakin meningkat. Lalu dapat juga dilihat kecenderungan bahwa pada variasi

tanpa *chamfer* memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dari variasi sudut *chamfer*  $15^\circ$ , hal ini disebabkan karena pada saat proses pengelasan spesimen dengan sudut *chamfer*  $15^\circ$  membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai *burn-off length* sebesar 3 mm dibandingkan dengan spesimen tanpa *chamfer*, dan mengakibatkan suhu pada sambungan las semakin meningkat yang berpengaruh pada semakin membesarnya ukuran butir, sehingga kekuatan tariknya juga semakin menurun.

Pada tabel 4.1 juga dapat dilihat bahwa kekuatan tarik tertinggi pada spesimen dengan variasi *upset force* 21 kN dan tanpa *chamfer* yaitu sebesar 239,20 MPa mengalami penurunan sekitar 24,5% jika dibandingkan dengan logam induk aluminium A6061 yaitu sebesar 316,71 MPa. Hal ini dikarenakan pada proses pengelasan gesek terjadi pelunakan pada sambungan las akibat panas yang ditimbulkan dari gesekan dan tekanan pada kedua permukaan spesimen.

#### 4.2.2 Porositas

Setelah mendapatkan hasil dari pengujian porositas pada tabel 4.2, lalu data tersebut diubah ke dalam bentuk grafik hubungan antara *upset force* dan sudut *chamfer* terhadap persentase porositas.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara *Upset Force* terhadap Porositas pada Variasi Sudut *Chamfer*

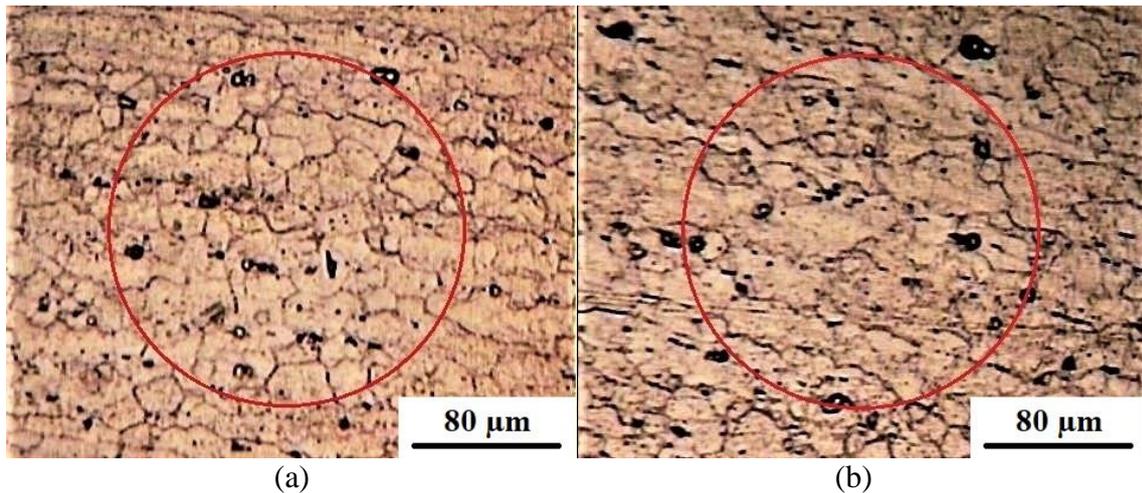
Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa variasi *upset force* dan sudut *chamfer* mempengaruhi porositas pada sambungan las. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa porositas terendahnya terdapat pada spesimen dengan variasi *upset force* 21 kN dan tanpa *chamfer*, dan porositas tertingginya terdapat pada spesimen dengan variasi *upset force* 7 kN dan sudut *chamfer* 15°.

Pada variasi sudut *chamfer* 15° dan tanpa *chamfer* masing-masing memiliki tiga variasi *upset force* yaitu 7 kN, 14 kN, dan 21 kN. Pada variasi tanpa *chamfer* dengan *upset force* 7 kN memiliki porositas sebesar 1,967%, lalu pada variasi *upset force* 14 kN memiliki porositas sebesar 1,246%, dan pada variasi *upset force* 21 kN memiliki porositas sebesar 1,066%. Sedangkan pada variasi sudut *chamfer* 15° dengan *upset force* 7 kN memiliki porositas sebesar 2,031%, lalu pada variasi *upset force* 14 kN memiliki porositas sebesar 1,694%, dan pada variasi *upset force* 21 kN memiliki porositas sebesar 1,105%.

Dari grafik di atas dapat dilihat kecenderungan bahwa semakin tinggi *upset force* maka persentase porositasnya semakin rendah, hal ini disebabkan karena seiring dengan meningkatnya *upset force* maka ukuran butiran pada sambungan las juga semakin kecil, sehingga persentase porositasnya semakin menurun. Begitu pula pada variasi tanpa *chamfer* yang memiliki kecenderungan persentase porositasnya lebih rendah daripada variasi sudut *chamfer* 15°, hal ini disebabkan karena pada saat proses pengelasan spesimen dengan sudut *chamfer* 15° membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai *burn-off length* yang ditetapkan dibandingkan dengan spesimen tanpa *chamfer*, dan mengakibatkan semakin besarnya kemungkinan udara untuk terjebak ke dalam sambungan las, sehingga persentase porositasnya juga semakin meningkat.

### 4.2.3 Mikrostruktur

Pada pengujian tarik dan porositas, ukuran butir pada sambungan las merupakan faktor penting yang mempengaruhi tinggi dan rendahnya kekuatan tarik dan persentase porositas, maka disertakan data hasil dari foto mikrostruktur logam pada sambungan las dengan kekuatan tarik tertinggi dan terendah, begitu pula dengan persentase porositas terendah dan tertingginya. Foto mikrostruktur ini digunakan sebagai data pendukung yang bertujuan untuk mengetahui apakah kekuatan tarik dan persentase porositas yang didapat sudah sesuai dengan ukuran butir pada sambungan las di dalam foto tersebut.



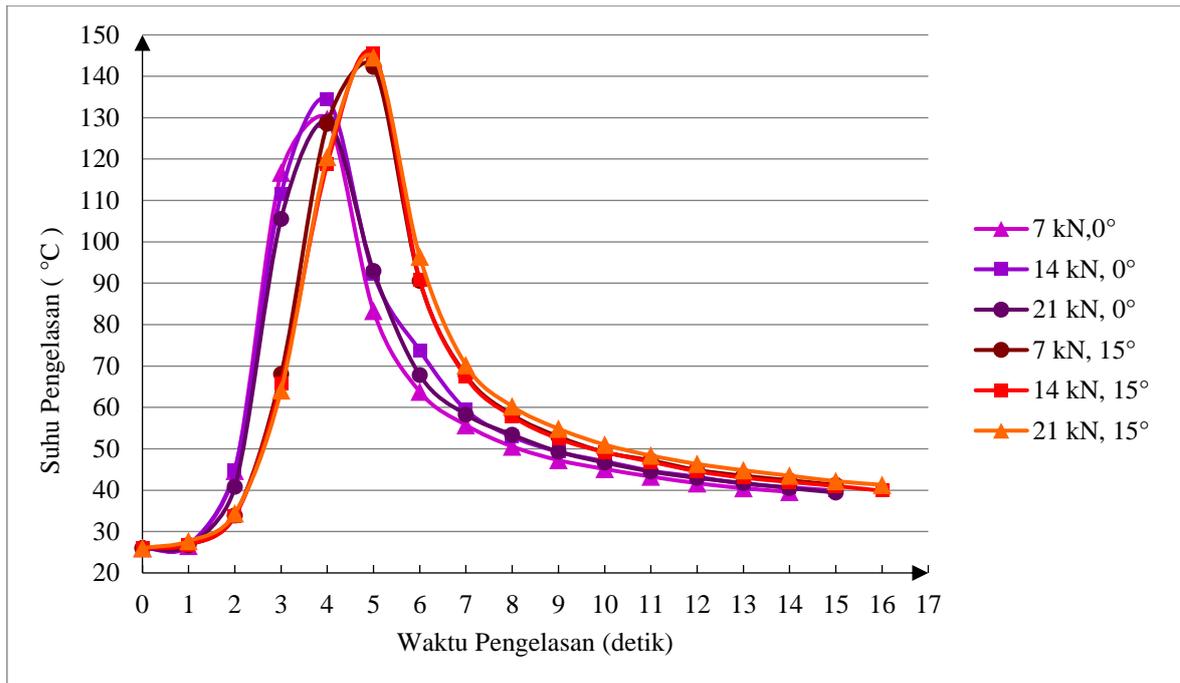
Gambar 4.3 Foto Mikrostruktur Sambungan Las pada Spesimen dengan Variasi *Upset Force* 21 kN serta Tanpa *Chamfer* (a) dan Spesimen dengan Variasi *Upset Force* 7 kN serta Sudut *Chamfer* 15° (b)

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pada spesimen dengan variasi *upset force* 21 kN serta tanpa *chamfer* cenderung memiliki ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan dengan spesimen dengan variasi *upset force* 7 kN serta sudut *chamfer* 15°. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa pada spesimen dengan variasi *upset force* 21 kN serta tanpa *chamfer* memiliki diameter butiran rata-rata sebesar 17,95  $\mu\text{m}$ , sedangkan pada spesimen dengan variasi *upset force* 7 kN serta sudut *chamfer* 15° memiliki diameter butiran rata-rata sebesar 21,44  $\mu\text{m}$ .

Hasil tersebut sesuai dengan hasil dari pengujian tarik dan pengujian porositas dimana ukuran butir yang lebih kecil cenderung untuk memiliki ikatan antar butir yang lebih kuat karena jarak antar butir-butirnya yang lebih kecil, sehingga kekuatan tarik yang dihasilkan juga semakin tinggi, dan persentase porositasnya juga semakin kecil.

#### 4.2.4 Suhu Pengelasan

Suhu pengelasan juga berperan penting dalam tinggi dan rendahnya kekuatan tarik, begitu pula dengan tinggi dan rendahnya persentase porositas.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara Waktu Pengelasan terhadap Suhu Pengelasan pada Variasi Sudut *Chamfer* dan *Upset Force*

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pada spesimen dengan variasi sudut *chamfer* 15° cenderung memiliki waktu pengelasan yang lebih lama untuk mencapai suhu puncaknya jika dibandingkan dengan spesimen dengan variasi tanpa *chamfer*, selain itu spesimen dengan variasi sudut *chamfer* 15° juga memiliki suhu pengelasan puncak yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen dengan variasi tanpa *chamfer*. Hal tersebut juga sesuai dengan hasil dari pengujian tarik dan pengujian porositas.

Hasil tersebut juga sesuai dengan hasil dari pengujian tarik dan pengujian porositas dimana suhu pengelasan yang lebih tinggi mengakibatkan semakin membesarnya ukuran butir yang mengakibatkan semakin lemahnya ikatan antar butir, dan juga waktu pengelasan yang lebih lama mengakibatkan semakin besarnya kemungkinan udara untuk masuk ke dalam sambungan las, sehingga kekuatan tarik yang dihasilkan semakin rendah, dan persentase porositasnya juga semakin tinggi.