

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Pengujian dan Perhitungan

4.1.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian Kekerasan pada spesimen aluminium struktur daur ulang ini dilakukan dengan menggunakan alat *Rockwell Hardness Tester*, dengan indenter bola 1/6 in (1.588mm) yang cocok digunakan untuk aluminium paduan. Pengujian dilakukan dilima titik seperti pada Gambar 3.4. Pada setiap spesimen yang kemudian dirata-rata dan dibandingkan nilai kekerasannya antara spesimen A sampai D. Untuk data pengujian kekerasan pada bagian permukaan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan untuk data pengujian kekerasan pada bagian tengah dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Bagian Permukaan Spesimen

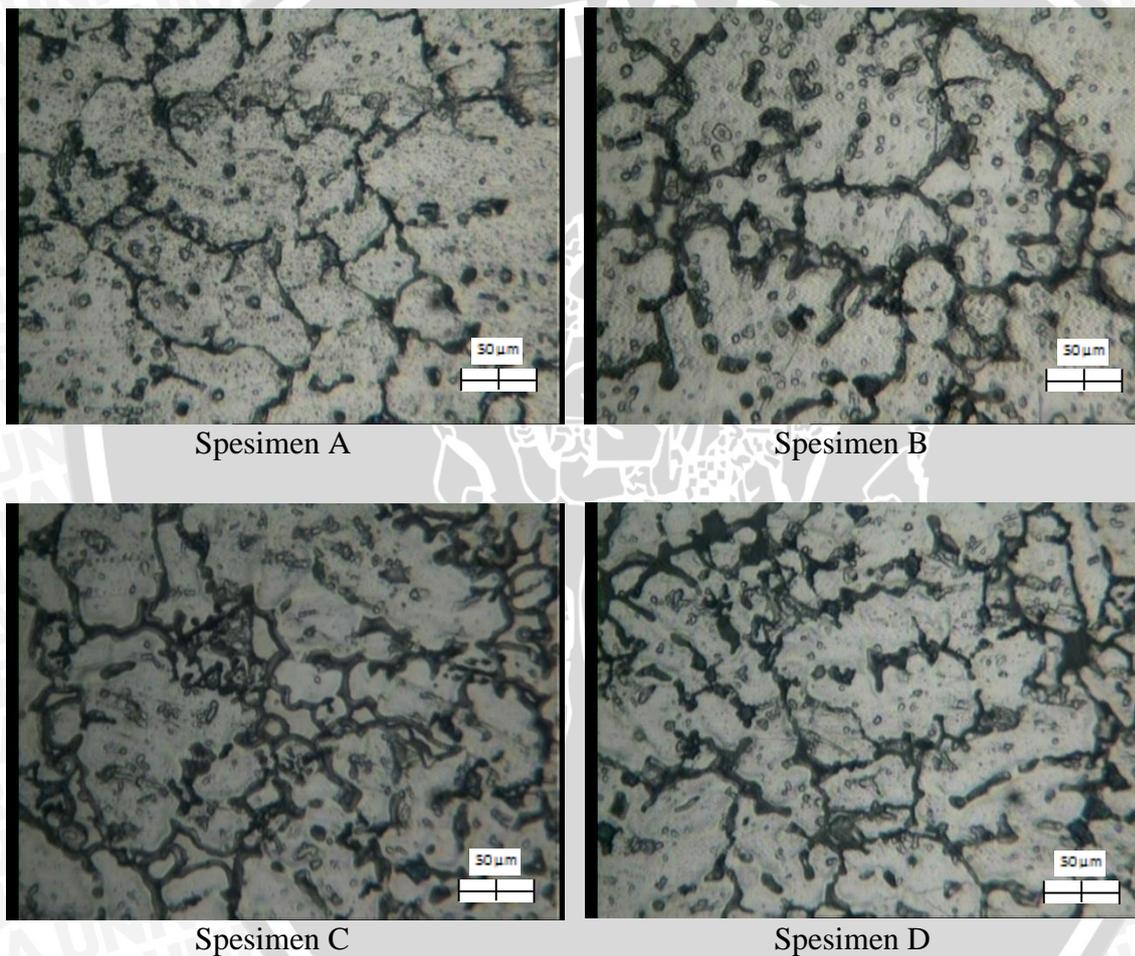
Spesimen	Recycling ke-	Nilai Kekerasan Pada Titik ke- [HRB]					Rerata [HRB]
		1	2	3	4	5	
A	1	75.5	77	78.9	79.5	81	78.4
B	2	81.5	82	82.2	82.6	82.8	82.2
C	3	86.8	87	88.5	88.5	88.2	87.8
D	4	84	84.5	84.8	84.8	85	84.6

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan Bagian Tengah Spesimen

Spesimen	Recycling ke-	Nilai Kekerasan Pada Titik ke- [HRB]					Rerata [HRB]
		1	2	3	4	5	
A	1	66.2	77.1	77.1	83.1	80.1	76.7
B	2	75	78.8	81.2	81.8	82.5	79.9
C	3	75.5	78.5	81.8	81.8	82.5	80.0
D	4	75.5	80.8	81	81	81.5	80.0

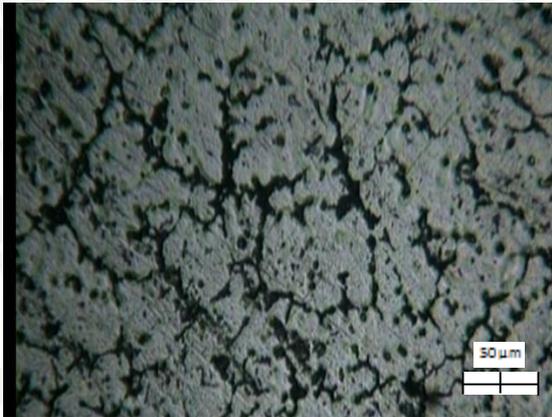
4.1.2 Hasil Foto Mikrostruktur

Spesimen aluminium struktur daur ulang didapatkan hasil foto mikrostruktur dengan perbesaran 200x. Sebelumnya dilakukan penghalusan permukaan (pada bagian pengujian) dan diberi etsa untuk dapat dilakukan foto mikro. Terdapat dua macam foto mikro struktur yang diambil, yaitu foto mikro struktur pada permukaan spesimen dan foto mikro struktur pada bagian tengah spesimen. Gambar foto mikrostruktur tengah hasil daur ulang aluminium struktur dapat dilihat pada Gambar 4.1, sedangkan gambar foto mikro struktur bagian permukaan hasil daur ulang aluminium struktur dapat dilihat pada Gambar 4.2.

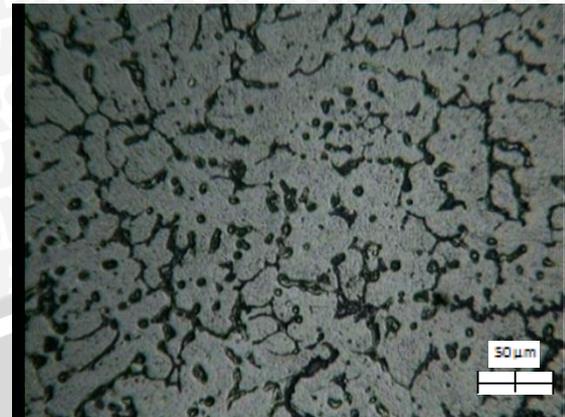


Gambar 4.1 Hasil Foto Mikrostruktur Bagian Tengah Pembesaran 200x

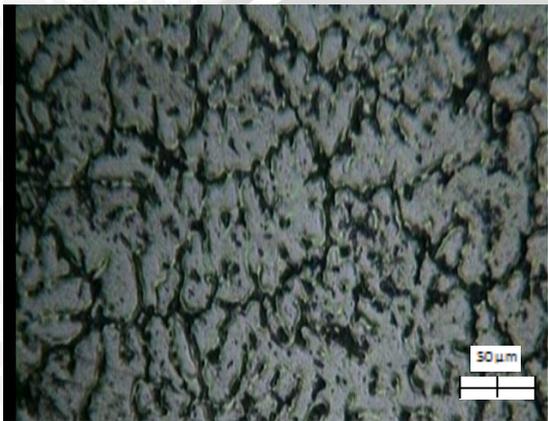
- Spesimen A : *Recycling ke-1*
- Spesimen B : *Recycling ke-2*
- Spesimen C : *Recycling ke-3*
- Spesimen D : *Recycling ke-4*



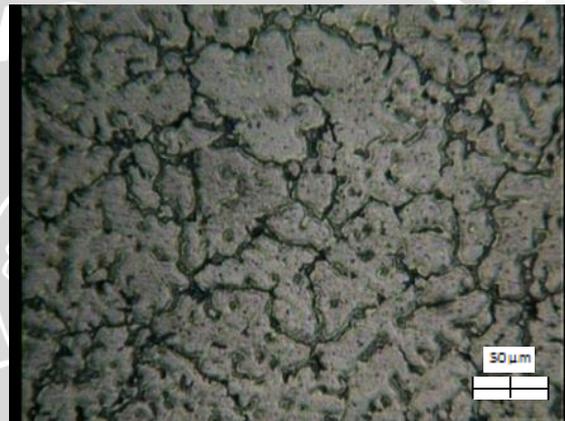
Spesimen A



Spesimen B



Spesimen C



Spesimen D

Gambar 4.2 Hasil Foto Mikrostruktur Bagian Permukaan Pembesaran 200x

- Spesimen A : *Recycling ke-1*
- Spesimen B : *Recycling ke-2*
- Spesimen C : *Recycling ke-3*
- Spesimen D : *Recycling ke-4*

Ukuran butir dari spesimen dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan metode planimetri. Perhitungan metode planimetri dapat ditentukan dengan adanya input foto mikro dari lingkaran dengan luas 5000 mm². Perhitungan ukuran butir dengan rumus matematis sebagai berikut:

$$N_A = f(N_{inside} + \frac{1}{2}N_{intercepted}) \quad (4-1)$$

Dimana:

N_A : jumlah butir dalam area (butir/mm²)

N_{inside} : jumlah butir bagian dalam lingkaran

$N_{intercept}$: jumlah butir yang bersinggungan dengan lingkaran

f : faktor pengali Jeffries (Pengali *Jeffries* ASTM E 112-96 2004)

$$G = \{3.322 (\log N_A) - 2.954\} \quad (4-2)$$

Dengan :

G : ASTM grain size number

Contoh perhitungan diameter butir

$$N_{\text{intercept}} = 15$$

$$N_{\text{inside}} = 19$$

$$N_A = f(N_{\text{inside}} + \frac{1}{2}N_{\text{intercept}})$$

$$N_A = 34 (19 + (15/2))$$

$$N_A = 34 (19 + 7.5)$$

$$N_A = 901$$

$$G = 3.322 \log N_A - 2.954$$

$$G = 3.322 \log 901 - 2.954$$

$$G = 6.862$$

Setelah dilakukan perhitungan seperti diatas didapatkan ukuran butir dari setiap spesimen yang tercantum dalam tabel ASTM E112(terlampir).

Tabel 4.3 Ukuran Butir Tiap Spesimen Pada Bagian Permukaan

Spesimen	Grain size no. (G)	Diameter (μm)
A	5.941	45.903
B	6.08785	43.653
C	6.17805	42.372
D	6,13366	43.002

Tabel 4.4 Ukuran Butir Tiap Spesimen Pada Bagian Tengah

Spesimen	Grain size no. (G)	Diameter (μm)
A	5.7186	49.684
B	5.7775	48.683
C	6.08785	42.346
D	6.0405	42.357

4.1.3 Konsumsi Energi

Pada saat dilakukan proses pengecoran, didapatkan hasil jumlah arus dan waktu peleburan yang dibutuhkan untuk dapat melebur aluminium struktur daur ulang. Tegangan

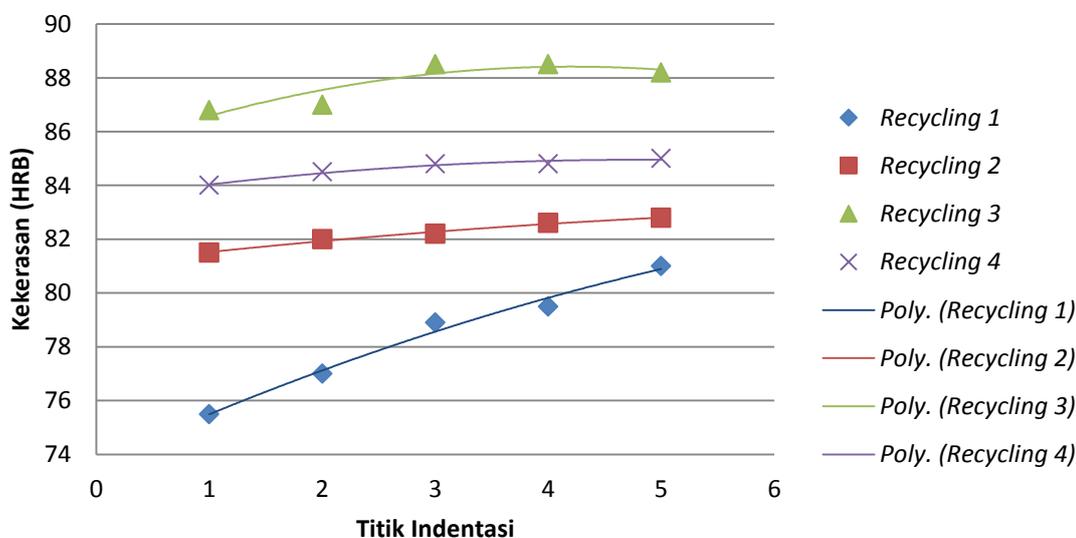
yang digunakan pada *electrical furnace* adalah tetap, yaitu 220 V. Untuk data konsumsi energi saat proses peleburan dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data Konsumsi Energi Peleburan

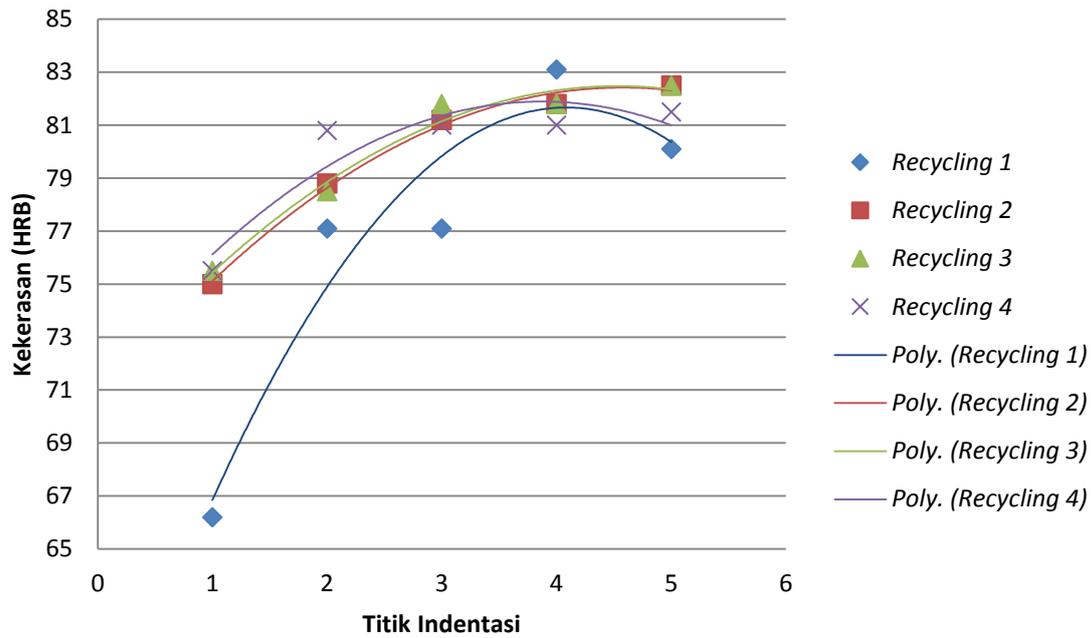
<i>Recycling</i> ke-	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (KW)	Waktu Peleburan (s)	Energi (MJ)
1	11.88	220	1.307	4200	4.479
2	11.89	220	1.308	4320	4.611
3	11.9	220	1.309	4500	4.807
4	11.91	220	1.310	4500	4.811

4.2 Pembahasan

Sifat mekanik dari suatu material dipengaruhi oleh ukuran butir. Salah satu cara meningkatkan kekuatan mekanik dari suatu material adalah dengan cara menghaluskan butir atau memperkecil ukuran butir. Penghalusan butir merupakan cara yang efektif bagi penguatan yang dihasilkan dengan menghalangi pergerakan dislokasi disekitar batas butir. Butir yang semakin kecil akan mengurangi terjadinya deformasi akibat pemberian beban indentasi pada pengujian kekerasan, sehingga bekas indentasi akibat indenter tidak terlalu dalam. Oleh karena itu, apabila ukuran butir dari suatu spesimen itu kecil-kecil maka nilai kekerasannya akan semakin tinggi seperti terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Tingkat *Recycling* Terhadap Distribusi Kekerasan Pada Permukaan Spesimen



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Tingkat *Recycling* Terhadap Distribusi Kekerasan Pada Tengah Spesimen

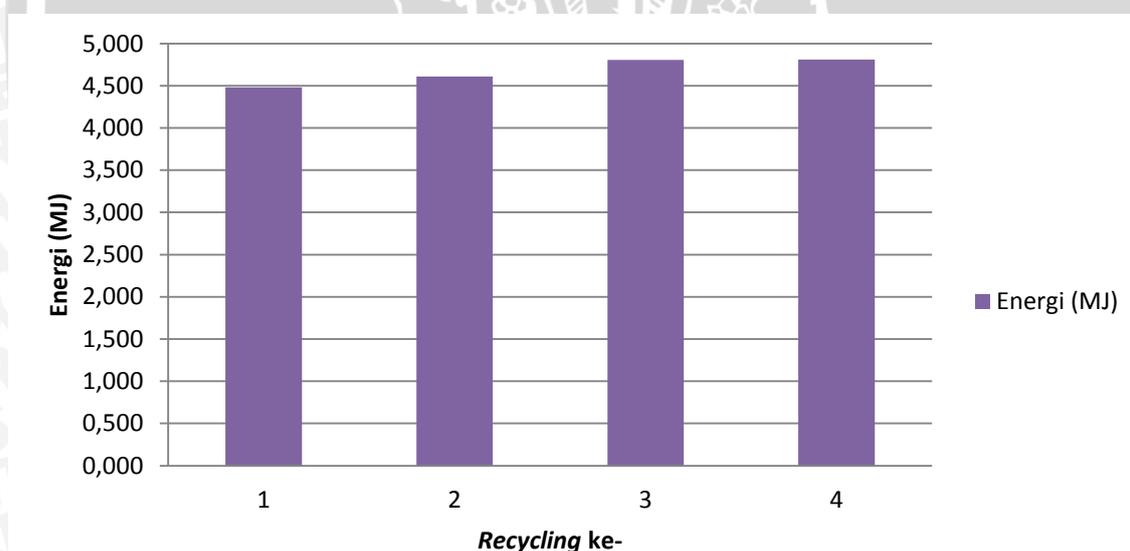
Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa tingkat recycling mempengaruhi ukuran butir dari aluminium struktur daur ulang. Spesimen pada *recycling* pertama cenderung memiliki ukuran butir yang besar, sedangkan spesimen pada *recycling* kedua memiliki ukuran butir yang lebih kecil dan merata. Kemudian dari data hasil uji kekerasan (Tabel 4.1) dapat dilihat bahwa tingkat *recycling* mempengaruhi kekerasan dari aluminium struktur daur ulang. Spesimen pada tingkat *recycling* pertama memiliki kekerasan paling rendah, sedangkan spesimen pada tingkat *recycling* keempat memiliki kekerasan yang paling tinggi.

Grafik distribusi kekerasan yang ditampilkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa tingkat *recycling* mempengaruhi distribusi kekerasan pada aluminium struktur daur ulang. Spesimen pada hasil *recycling* pertama memiliki hasil kekerasan dari titik 1 sampai titik 5 dengan selisih yang lebih banyak daripada hasil *recycling* selanjutnya. Hal ini juga berhubungan dengan keseragaman ukuran butiran. Pelepasan atom secara seragam saat dilakukan *remelting*. Saat terjadi solidifikasi, atom-atom yang seragam tersebut membentuk inti dan membentuk dendrit. Setelah itu membentuk struktur Kristal ideal yang kemudian terbentuklah butir. Dapat dilihat bahwa diameter butir terbesar terletak pada *recycling* pertama dan diameter terkecil pada *recycling* ketiga.

Perbedaan nilai kekerasan juga dipengaruhi oleh adanya inklusi pada saat proses pengecoran. Dari hasil pengujian komposisi didapatkan bahwa terdapat inklusi unsur Fe

yang terjadi pada saat *recycling* pertama dan terus meningkat sampai *recycling* ketiga dan setelah itu turun pada *recycling* keempat. Hal inilah yang menyebabkan nilai kekerasan terus meningkat hingga *recycling* keempat.

Pada proses peleburan menggunakan *electrical furnace* tidak semua energi input digunakan untuk meleburkan aluminium struktur. Pada proses operasi peleburan, *power factor* diatas 0.85 dianggap regulator pada *furnace* tidak mampu mempertahankan kestabilan saat operasi terhadap panel penunjuk ukuran. *Power factor* saat peleburan berkisar antara 0.85 sampai 0.75 untuk tungku kecil dan 0.80 sampai 0.65 untuk tungku besar. *Power factor* kurang dari 0.65 dianggap konsumsi energi tidak ekonomis meskipun tungku masih dalam keadaan stabil tetapi *losses* yang terjadi terlalu besar menyebabkan proses peleburan tidak efisien (Charles R. Taylor, 1985). Peleburan menggunakan *electrical furnace* terdapat *losses* dimana jumlah energi yang masuk tidak semua dirubah menjadi panas. Kehilangan energi pada system electrical dapat mencapai 6% dari total energi yang masuk ke dalam tungku (Eder Trejo dkk, 2012).



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Tingkat *Recycling* Terhadap Total Energi yang Dibutuhkan

Tingkat *recycling* aluminium struktur juga berpengaruh terhadap konsumsi energi yang dibutuhkan saat proses peleburan. Hal tersebut dapat dilihat pada arus yang digunakan terbesar terletak pada *recycling* keempat, yaitu sebesar 11.91 A. Sedangkan arus terkecil terdapat pada *recycling* pertama, yaitu sebesar 11.88 A.

Tingkat *recycling* juga berpengaruh terhadap lamanya proses peleburan yang dibutuhkan. Dari pencatatan waktu yang dilakukan saat peleburan berlangsung, didapatkan

bahwa waktu peleburan terbesar terletak pada *recycling* ketiga dan keempat, yaitu selama 4500 detik atau selama 75 menit. Sedangkan waktu peleburan terkecil terletak pada *recycling* pertama, yaitu selama 4200 detik atau selama 70 menit.

Besarnya daya dan waktu peleburan mempengaruhi besar energi yang dibutuhkan saat *remelting*. Semakin besar arus dan semakin lama waktu peleburan yang dibutuhkan, maka semakin tinggi pula energi yang dibutuhkan untuk meleburkan aluminium struktur. Dapat dilihat bahwa energi tertinggi terletak pada *recycling* keempat yaitu sebesar 4,811 MJ dan energi terendah terletak pada *recycling* pertama yaitu sebesar 4,479 MJ.

Perbedaan besar energi yang dibutuhkan berhubungan dengan inklusi Fe yang terdapat pada hasil pengecoran. Inklusi Fe dapat diketahui dari hasil pengecoran *recycling* pertama dan terus meningkat hingga *recycling* ketiga lalu turun pada *recycling* keempat. Unsur Fe yang memiliki titik lebur lebih tinggi daripada titik lebur Al. Hal ini menyebabkan energi peleburan yang dibutuhkan terus meningkat dari *recycling* pertama hingga *recycling* keempat.

