

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Peleburan Kaleng Minuman

Pada penelitian ini proses peleburan kaleng minuman dilakukan dengan beberapa metode peleburan, yaitu dengan muffle furnace, burner LPG dan burner batubara.

4.1.1. Peleburan Menggunakan *Muffle furnace*

Dalam penelitian ini, metode peleburan menggunakan *muffle furnace* yang dilakukan sebanyak 3 kali percobaan. Berikut adalah hasil dari percobaan tersebut:

1. Percobaan pertama dilakukan dengan temperatur peleburan 700 °C selama 60 menit (Gambar 4.1). Hasilnya kaleng yang lebur hanya sedikit dan tidak dapat dituang karena terdapat slag yang mengerak dibagian atas.



Gambar 4.1 Hasil percobaan ke-1 dengan *muffle furnace*

2. Percobaan kedua dilakukan dengan temperatur peleburan 700 °C selama 90 menit (Gambar 4.2). Hasilnya kaleng tidak lebur bahkan dari percobaan ini hanya meninggalkan slag.



Gambar 4.2 Hasil percobaan ke-2 dengan *muffle furnace*

3. Percobaan ketiga dilakukan dengan temperatur peleburan 750°C selama 90 menit (Gambar 4.3). Hasilnya kaleng yang lebur hanya sebagian kecil dan meninggalkan slag.



Gambar 4.3 Hasil percobaan ke-3 dengan *muffle furnace*

Tabel 4.1 Perbandingan Cp dan K Pada Aluminium dan Alumina

Temperature (K)	Al		Al ₂ O ₃	
	Cp (J/Kg.K)	K (W/m.K)	Cp (J/Kg.K)	K (W/m.K)
100	482	237	0	450
200	798	387	0	82
300	873	313	475	56
400	949	240	940	32,4
500	976	235	1022	25
600	1003	231	1110	18,9
700	1074	224	1140	16
800	1146	218	1180	13
900	1220	210	1200	12
1000	1290	204	1225	10,5

Sumber : *Fundamentals of Heat and Mass Transfer (6th ed)*, (2007)

Dari 3 kali percobaan peleburan menggunakan *muffle furnace*. Awalnya dilakukan dengan temperatur peleburan 700 °C selama 60 menit. Hasilnya kaleng yang lebur hanya sedikit dan tidak dapat dituang karena terdapat slag yang mengerak dibagian atas. Yang kedua dilakukan dengan temperatur peleburan 700 °C selama 90 menit. Hasilnya kaleng tidak lebur bahkan dari percobaan ini hanya meninggalkan slag. Yang ketiga dilakukan dengan temperatur peleburan 750°C selama 90 menit. Hasilnya kaleng yang lebur hanya sebagian kecil dan meninggalkan slag. . Sesuai nilai Cp pada (Tabel 4.1) ditunjukkan bahwa kapasitas panas dari aluminium memiliki nilai kapasitas panas yang tinggi dibandingkan dengan alumina. Sehingga untuk meningkatkan temperatur pada aluminium akan membutuhkan kalor yang lebih banyak dibanding dengan logam lain. Selain itu dalam peleburan terdapat alumina/Al₂O₃, alumina mempunyai kapasitas panas yang tidak jauh beda dengan aluminium namun mempunyai konduktivitas termal yang rendah dibanding aluminium oleh sebab itu alumina sulit menghantarkan panas..

Selain itu udara di dalam *muffle furnace* ini adalah udara biasa yang mengandung oksigen sebanyak 21%. Maka ketika waktu peleburan bertambah lama, aluminium cair yang terbentuk akan semakin lama berkontak dengan udara sehingga akan

semakin banyak terbentuk Al_2O_3 . Padahal, Al_2O_3 mempunyai konduktivitas termal yang jauh lebih rendah dibandingkan aluminium. Oleh karena itu strategi yang dapat dilakukan adalah:

- Mempercepat waktu peleburan sehingga memperpendek waktu kontak antara aluminium dengan oksigen yang menciptakan senyawa Al_2O_3 . Senyawa Al_2O_3 ini tidak menguntungkan dari sisi termal karena mempunyai konduktivitas termal yang rendah. Pada temperatur peleburan 750°C , konduktivitas termal alumina hanya $1/16$ konduktivitas termal aluminium. Percepatan peleburan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara misalnya pemotongan ukuran kaleng menjadi ukuran kecil.
- Mengisi ruangan atmosfer furnace dengan gas inert/ argon sehingga mengurangi terbentuknya alumina
- Melakukan vacuum untuk meminimalkan jumlah oksigen untuk mengurangi terbentuknya alumina.

4.1.2. Peleburan Menggunakan Burner LPG

Peleburan kaleng dengan menggunakan burner LPG (Gambar 4.4) tidak ekonomis. Karena dalam suatu proses pembakaran membutuhkan waktu untuk mencapai temperatur 750°C . Pada saat proses pembakaran untuk mencapai temperatur tersebut aliran gas terus mengalir namun gas sudah habis sebelum temperatur 750°C . Oleh sebab itu dalam penelitian ini tidak jadi memakai metode ini karena boros dalam penggunaan LPG. Harga batubara adalah Rp.800/kg sedangkan untuk LPG Rp.10.000/kg. Ketika dilakukan percobaan, maka kalori yang dibutuhkan dari LPG untuk melakukan peleburan kurang lebih sama dengan dari batubara. Mengingat harga LPG jauh lebih mahal dibandingkan dengan batubara, maka metode peleburan yang dipakai adalah dengan memakai burner batubara.



Gambar 4.4 Proses peleburan menggunakan burner LPG

4.1.3 Peleburan Menggunakan Burner Batubara

Dalam penelitian ini, metode peleburan yang dipilih menggunakan burner batubara, karena batubara mempunyai kalori yang kurang lebih sama dengan LPG serta pertimbangan harga yang jauh lebih ekonomis daripada elpiji.

4.2. Yield Daur Ulang

Dari percobaan yang telah dilakukan sebanyak 5 kali peleburan dengan burner batubara, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.2. Persentase Yield Daur Ulang dan Persentase Al Alloy Terhadap Jumlah Slag dan Al Alloy

Nama	Bahan baku yang dilebur	Berat bahan baku awal (gram)	Berat slag (gram)	Berat Al Alloy yang dihasilkan (gram)	Yield daur ulang (%)	Persentase Al Alloy Terhadap Jumlah Slag dan Al Alloy (%)
Eks. 1	B+T+C	440	149	192	43,6	56,3
Eks. 2	B+T-C	440	123	275	62,5	69,1
Eks. 3	B-T+C	440	205	117	26,6	36,3
Eks. 4	B-T-C	440	148	213	48,4	59,0
Eks. 5	T	440	108	261	59,3	70,7

Keterangan :

Eksperimen 1 : Badan kaleng dengan tutup kaleng dengan cat

Eksperimen 2 : Badan kaleng dengan tutup kaleng tanpa cat

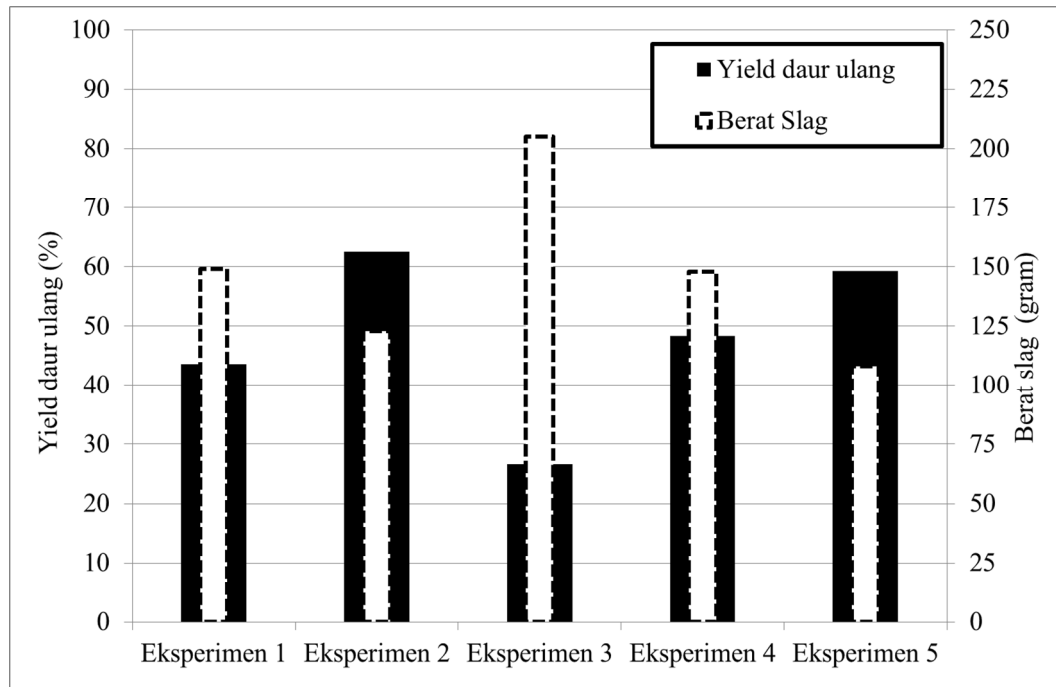
Eksperimen 3 : Badan kaleng dengan tutup kaleng dengan cat

Eksperimen 4 : Badan kaleng tanpa tutup kaleng tanpa cat

Eksperimen 5 : Tutup kaleng

Berdasarkan Tabel 4.2 persentase yield daur ulang pada *sample* yang menggunakan cat lebih rendah (43,6% dan 26,6%) dibanding *sample* yang tidak menggunakan cat (62,5% dan 48,8%). Persentase yield daur ulang yang rendah diakibatkan karena persentase slag yang tinggi. Selain itu pada Tabel 4.2

diperoleh data berat yang hilang, berat yang dimaksud merupakan sebagian besar berat slag dan aluminium yang tidak cair yang berada pada bagian dasar crucible.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan yield daur ulang kaleng minuman

Berdasarkan Gambar 4.5 yield daur ulang yang ditunjukkan pada eksperimen peleburan kaleng dengan cat lebih rendah. Sedangkan pada proses peleburan kaleng tanpa cat mempunyai yield daur ulang lebih tinggi. Semua proses peleburan kaleng dilakukan dengan berat bahan baku yang sama yaitu 440 gram. Berat slag pada hasil eksperimen peleburan kaleng dengan cat lebih tinggi daripada eksperimen kaleng tanpa cat. Ini membuktikan bahwa cat pada kaleng memiliki peranan penting dalam proses peleburan. Karena pada saat proses peleburan dilakukan cat yang mengandung *polyester isophthalic acid* terdapat kandungan oksigen yang akan bereaksi dengan aluminium sehingga membentuk Al_2O_3 .

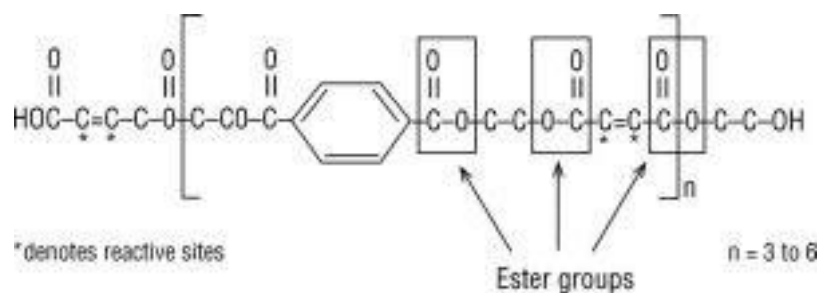
4.3 Komposisi Kimia Aluminium Alloy

Data komposisi badan kaleng, tutup kaleng, dan cat ditampilkan pada Tabel 4.3 Hasil ini menunjukkan bahwa unsur terbesar penyusun kaleng minuman tersebut adalah Aluminium. Oksigen muncul di badan kaleng dan tutup kaleng karena lapisan terluar badan dan tutup kaleng terekspos dengan oksigen yang terdapat di udara. Dengan demikian, ada sebagian aluminium dari permukaan terluar tersebut yang teroksidasi.

Tabel 4.3 Hasil Uji Komposisi Kaleng Sprite 250 ml

Sample	O	Al	Si	Fe
Badan kaleng	10,16	83,11	6,05	0,68
Tutup kaleng	8,97	86,56	3,87	0,58
Cat	<i>Polyester isophthalic acid</i>			

Dari hasil uji komposisi kaleng sprite 250 ml, jenis cat yang terdapat pada kaleng adalah *polyester isophthalic acid*. Berdasarkan Gambar 4.6 jenis cat tersebut memiliki kandungan oksigen. Hal ini menyebabkan peleburan kaleng minuman dengan cat yang dilebur sebagian ada yang menjadi slag/ Al_2O_3 . Pada hasil uji komposisi yang dilakukan tidak terdapat kandungan C dan H karena kandungan C dan H menguap saat proses peleburan karena produk oksidasi karbon adalah CO dan CO_2 yang berfasa gas sedangkan hidrogen akan berubah menjadi H_2O yang berfasa gas atau H monoatomic yang berfasa gas.



Gambar 4.6 Ikatan *polyester isophthalic acid*

Sumber : Polyester resin. Retrieved December 19, 2016, from:

<http://netcomposites.com/guide-tools/guide/resin-systems/polyester-resins/>

4.3.1 Komposisi Kimia Hasil Peleburan

Tabel 4.4. Uji Komposisi Hasil Peleburan Kaleng Sprite 250 ml dan Slag

Sample	Eksperimen	O	Al	Si	Fe
		[% wt]			
Eksperimen 1 - Tengah	B+T+C	-	92,55	4,21	3,51
Eksperimen 1 - Pinggir	B+T+C	-	90,49	3,05	5,63
Eksperimen 2	B+T-C	-	95,11	1,32	3,44
Eksperimen 3	B-T+C	-	91,60	4,39	3,87
Eksperimen 4	B-T-C	-	96,53	1,21	2,23
Eksperimen 5	T	-	95,81	1,28	2,34
Sample slag eksperimen 1	Slag B+T+C	44,02	52,71	1,29	1,87
Sample slag eksperimen 2	Slag B+T-C	42,91	49,89	3,89	2,87

Hasil peleburan eksperimen 1 (badan dengan tutup dengan cat) mempunyai kadar aluminium yang lebih rendah dibanding hasil peleburan eksperimen 2 (badan dengan tutup tanpa cat). Selain itu pada eksperimen 1 terdapat 2 hasil pengujian pada bagian tengah dan pinggir spesimen. Hasil kedua pengujian tersebut mempunyai kadar aluminium yang berbeda dan terdapat kadar Fe yang cukup tinggi pada spesimen dibagian pinggir yaitu sebesar 5.63% sedangkan pada bagian tengah sebesar 3,51%. Penyebab terjadinya perbedaan kadar Fe di 2 tempat tersebut mengindikasikan adanya difusi Fe pada saat proses peleburan kaleng yang berasal dari cetakan maupun crucible.

Hasil uji komposisi eksperimen 2 (badan dengan tutup tanpa cat) menunjukkan bahwa kadar aluminium yang dihasilkan lebih tinggi dari eksperimen 1 yaitu sebesar 95,11% kandungan Si pada eksperimen 2 sebesar 1,32% lebih rendah dibanding eksperimen 1. Kandungan Si ini berasal dari bahan baku awal namun persentase Si akan lebih rendah seiring dengan kadar aluminium yang tinggi. Kenaikan kadar aluminium ini akan menaikkan massa hasil peleburan.

Hasil uji komposisi eksperimen 3 (badan tanpa tutup dengan cat) menunjukkan bahwa kadar Aluminium lebih rendah dibanding eksperimen 4 yang mempunyai selisih 4,93%. Pada eksperimen 3 masih terjadi difusi Fe dan Si seiring menurunnya kadar aluminium. Hal tersebut dibuktikan dengan kadar Si dan Fe yang lebih tinggi dibanding eksperimen 4.

Hasil uji komposisi eksperimen 4 (badan tanpa tutup tanpa cat) menunjukkan kadar aluminium pada spesimen eksperimen 4 lebih tinggi dibanding eksperimen 3. Kadar Si dan Fe juga menurun seiring kadar aluminium yang tinggi.

Hasil uji komposisi eksperimen 5 (tutup kaleng) mempunyai kadar aluminium yang cukup tinggi yaitu 95,81%. Bagian tutup kaleng tidak terdapat lapisan cat, dengan demikian membuktikan bahwa pengaruh cat sangat besar terhadap kadar aluminium.

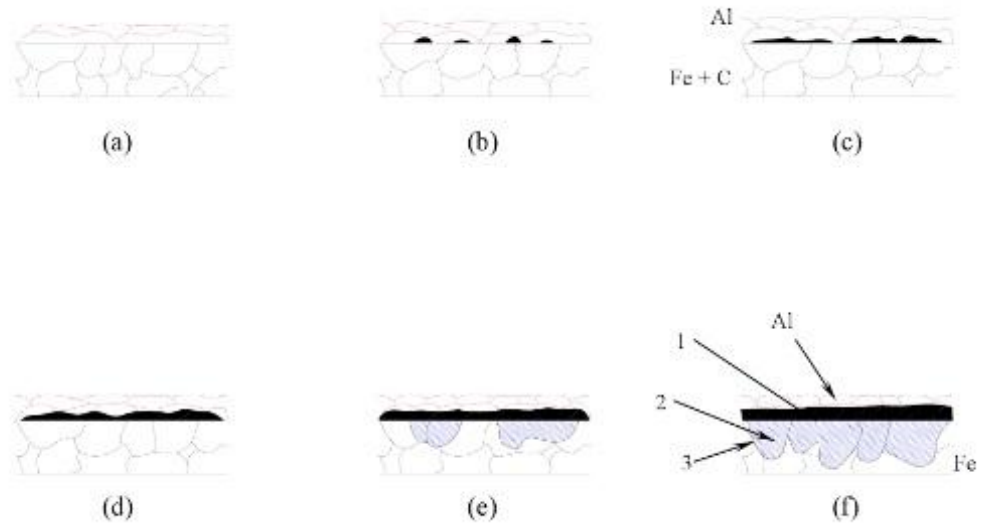
Pada sample slag eksperimen 1(badan dengan tutup dengan cat) terdapat kandungan oksigen pada hasil pengujian ini karena ada oksigen yang bereaksi dengan aluminium menjadi Al_2O_3 .

Pada sample slag eksperimen 2(badan dengan tutup tanpa cat) sama halnya dengan sample slag eksperimen 1 yaitu terdapat kandungan oksigen yang berasal dari slag yang mengandung Al_2O_3 . Oleh sebab itu kadar aluminium menurun drastis.

4.3.2. Difusi Ferrous Saat *Melting* Aluminium

Pada saat melting aluminium ternyata ada difusi Fe-C pada aluminium cair. Kandungan Fe-C terdapat pada crucible yang dipakai untuk proses peleburan. Reaksi difusi ini dapat dijelaskan lebih lanjut dengan memperhatikan Gambar 4.7,a Aluminium dan baja karbon belum terjadi apa-apa dan pada Gambar 4.7,b reaksi permukaan terjadi antara cairan (Al) dan padat (Fe-C) lalu Gambar 4.7,c akhirnya atom aluminium mulai berdifusi ke permukaan. Aluminium mengurangi kelarutan karbon dalam besi cair dan padat, sehingga karbon dipaksa keluar dari larutan padat dari besi selama pembentukan lapisan menengah Gambar 4.7,f .no.2 dan daerah yang kaya karbon Gambar 4.7,f. no.3 berkembang langsung di depan zona difusi akumulasi karbon di depan difusi

menghambat pelarutan besi dengan berperan seperti penghalang untuk kemajuan difusi aluminium.



Gambar 4.7 Reaksi difusi Fe-C pada aluminium

Sumber : Bright, M. A. (2007)