

KAJIAN SIFAT MEKANIK CORAN ALUMINIUM DAUR ULANG
HASIL PELEBURAN DAPUR PEMBAKARAN LANGSUNG
INDUSTRI RUMAHAN

Yenky Oktaryan Safutra,* Nukman* Ruslan*

*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jalan Raya Prabumulih km 32.
Indralaya 30662 (Ogan Ilir), Sumatera Selatan, Indonesia

*Email: nukman@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK

Aluminium adalah salah satu material yang paling banyak digunakan dalam bidang industri. Sebagai salah satu cara untuk mengurangi limbah logam pada lingkungan dilakukan proses daur ulang yaitu dengan cara melebur kembali limbah logam atau yang disebut dengan proses pengecoran. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengkajian sifat mekanik hasil pengecoran aluminium bekas. Untuk sebagian spesimen hasil cor akan dilakukan proses perlakuan panas yang diharapkan dapat memperbaiki sifat mekaniknya. Terjadi peningkatan nilai rata-rata kekuatan impact dan rata-rata kekuatan tarik setelah dilakukan proses perlakuan panas terhadap spesimen. Nilai rata-rata kekuatan impact tertinggi dimiliki oleh spesimen yang mengalami proses perlakuan panas *annealing* kemudian *diquenching* dengan media air yaitu untuk rata-rata energi impact sebesar 2,419 J dan untuk nilai rata-rata nilai energi impact persatuan luas (W) sebesar 0,0302. Sedangkan untuk rata-rata nilai tegangan *ultimate* (σ_u) tertinggi dimiliki oleh spesimen yang *diannealing* kemudian *ditempering* yaitu sebesar 15,692 kgf/mm² dan untuk rata-rata nilai tegangan *fracture* (σ_f) tertinggi dimiliki oleh spesimen yang *diannealing* kemudian *ditempering* yaitu sebesar 15,404 kgf/mm². Sedangkan untuk nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh spesimen tanpa perlakuan panas yaitu sebesar 152,787.

Kata kunci : Aluminium Bekas, Pengecoran, Perlakuan Panas, Uji Sifat Mekanik.

1. PENDAHULUAN

Aluminium dapat dijumpai dalam kehidupan sehari-hari seperti alat memasak, komponen mesin, konstruksi bangunan dan lain-lain. Alat-alat rumah tangga dan komponen mesin yang rusak dan tidak terpakai lagi akan menjadi limbah yang menyebabkan masalah baru pada lingkungan karena limbah logam yang mencemari lingkungan akan membutuhkan waktu yang lama untuk terurai kembali. Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.13 (2012) pasal 1 poin ke-1: Kegiatan *reduce, reuse, dan recycle* atau batasi sampah, guna ulang sampah dan daur ulang sampah yang selanjutnya disebut Kegiatan 3R adalah segala aktivitas yang mampu mengurangi segala sesuatu yang dapat menimbulkan sampah, kegiatan penggunaan kembali sampah yang layak pakai untuk fungsi yang sama atau fungsi yang lain, dan kegiatan mengolah sampah untuk dijadikan produk baru. Peralatan memasak, komponen mesin, dan konstruksi bangunan yang terbuat dari aluminium ini bisa dimanfaatkan kembali dengan cara mendaur ulangnya. Mendaur ulang aluminium bekas dapat menghemat energi dari pada pengolahan aluminium dari bijihnya. Manfaat dari daur ulang aluminium sangat jelas. Hanya membutuhkan 0,6 kW/kg untuk mendaur ulang aluminium, dibandingkan dengan 12 kW/kg yang diperlukan untuk produksi primer. Saat ini 40% dari semua aluminium yang digunakan dalam konstruksi didapat dari daur ulang, namun angka ini terus meningkat sebab konsep penggunaan ulang dalam suatu komponen bangunan sudah diterima secara luas. (Simpson, 1999). Disamping itu mendaur ulang aluminium bekas dapat mengurangi limbah logam dan bisa mendukung dan membantu pemerintah dalam

melaksanakan Kegiatan 3R. Proses daur ulang dari aluminium dapat menggantikan aluminium primer dengan capaian 95% (Totten & MacKenzie, 2003). Dari hasil wawancara yang dilakukan terhadap pelaku industri pengecoran rumahan, yang salahsatu produksi yang dihasilkan berupa baling-baling kapal kapasitas kecil, dinyatakan bahwa hasil dari pengecoran industri rumahan hanya dapat bertahan menerima pembebanan di sungai antara 1 (satu) minggu s.d 1 bulan. Beban pada baling-baling kapal motor kecil merupakan representasi dari sifat mekanik material berupa beban tarikan (ataupun tekanan), beban kejut atau impak dan kekerasan. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa, sifat mekanik dari hasil daur ulang aluminium bekas belum memiliki sifat-sifat yang baik, maka dari itu perlu dilakukan proses perlakuan panas untuk memperbaiki sifat-sifat mekaniknya. Perlakuan panas terhadap hasil coran merupakan usaha homogenisasi hasil coran (Schmitz, 2014), yang diharapkan akan menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik.

Perlakuan panas merupakan suatu proses kombinasi antara pemanasan dan pendinginan terhadap logam dalam bentuk padat selama waktu tertentu, dengan tujuan mendapatkan sifat-sifat mekanik tertentu. Proses perlakuan panas ini bergantung pada pemakaiannya, dapat digunakan untuk mengerasakan, melunakkan, menghilangkan tegangan sisa (*residual stresses*), meningkatkan keuletan, dan untuk meningkatkan mampu mesin. (Mursalin, dkk, 2009).

Annealing bertujuan menghilangkan tegangan sisa yang disebabkan oleh perlakuan pengerasan atau akibat proses pengecoran. *Annealing* dilakukan di atas temperatur rekristalisasi. Untuk aluminium paduan cor umumnya *dianil* pada temperatur 343°C dengan *holding time* 3 (tiga) jam sampai 4 (empat) jam kemudian didinginkan secara lambat sampai berkisar 10°C per jam. Pada aluminium paduan cor, *Annealing* tidak begitu signifikan mengubah sifat mekaniknya. Namun, sedikit dapat menurunkan kekuatan tarik dan meningkatkan pertambahan panjang. (Totten and Mackenzie, 2003).

Proses *quenching* yaitu aluminium paduan dipanaskan sampai temperatur antara 400°C sampai 450°C kemudian ditahan pada temperatur tersebut (*holding time*). Beberapa saat kemudian didinginkan secara mendadak dengan cara mencelupkan spesimen kedalam air, pelumas ataupun media pendingin yang lain (Suroño & Nofri, 2011).

Tempering adalah memanaskan kembali aluminium paduan yang telah dikeraskan untuk menghilangkan tegangan dalam dan mengurangi kekerasan. Prosesnya adalah memanaskan kembali berkisar pada temperatur 550°C dan didinginkan secara perlahan-lahan tergantung sifat akhir aluminium paduan tersebut. Tempering dibagi dalam : (a). Tempering pada temperatur rendah (250°-400°C), (b). Tempering pada temperatur menengah (450°-500°C), (c). Tempering pada temperatur tinggi (550°-650°C) (Suroño & Nofri, 2011).

Aluminium di alam tidak ditemukan secara murni melainkan selalu dikombinasikan dalam senyawa kimia. Aluminium ditemukan di alam dalam berbagai macam mineral bergabung dengan oksigen, silikon, dan logam lainnya. Tetapi bauksit adalah bahan dasar utama yang digunakan untuk industri aluminium. Aluminium memiliki berat jenis yang ringan hanya sepertiga dari berat jenis baja, dan seperti tembaga yang memiliki konduktivitas termal dan listrik yang tinggi, memiliki ketahanan korosi yang paling baik di lingkungan dan dapat dengan mudah dituang atau dibuat menjadi berbagai barang konsumen. Hal ini merupakan nilai yang tinggi untuk didaur ulang karena hasil peleburan skrap hanya membutuhkan 5% dari total energi yang dibutuhkan untuk mengekstrak jumlah yang sama pada logam primer dari bijih bauksit (Lumley, 2018).

Aluminium tidak digunakan dalam keadaan murni saja, tetapi aluminium juga dipadu dengan berbagai unsur. Tujuan dari memadukan unsur lain dengan aluminium ini adalah untuk mendapatkan karakteristik yang sesuai dengan kondisi operasi dari produk yang dihasilkan. Contohnya aluminium dan paduan Al Mg Si memungkinkan dalam berbagai aplikasi instalasi listrik karena memiliki konduktivitas listrik yang tinggi (Schmitz, 2014). Tetapi beberapa elemen pemadu merupakan hasil kontaminasi yang tidak diinginkan.

Paduan tempa digunakan sebagai material dasar untuk pembentukan permesinan seperti, *ekstruksi*, *rolling*, *deep drawing*, dan *forging*. Paduan ini mempunyai elemen paduan dengan kualitas yang kecil (Schmitz, 2014). (Schmitz, 2006). Paduan ini jatuh kedalam beberapa kelompok, masing-masing kelompok dibedakan oleh salah satu unsur pemadu utama, paduan ini

juga dibedakan atas paduan yang tidak bisa diberi perlakuan panas dan yang bisa diberi perlakuan panas (Cobden, Alcan, & Banbury, 1994).

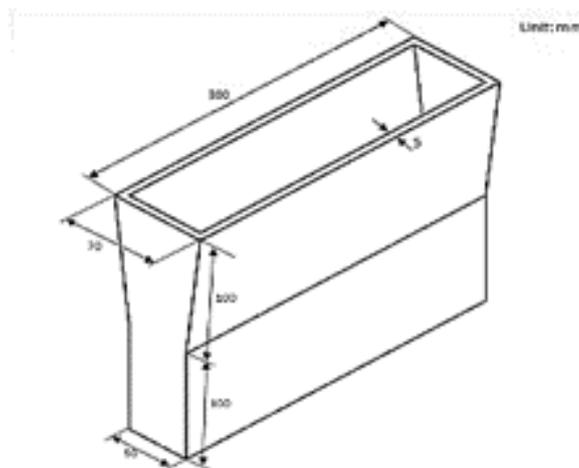
Aluminium Casting Alloy memiliki sifat mudah dibuat, ringan, tahan karat dan tahan temperatur tinggi sekitar 100°C - 200°C . Sistem pengkodean untuk *Aluminium Casting Alloy* menggunakan 3 (tiga) angka ditambah 1 (satu) angka yang terpisah oleh tanda titik (Ningsih, 2010). Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanis dari limbah aluminium yang dicor dengan cara memberikan perlakuan panas tertentu.

2. METODELOGI DAN BAHAN

3.

3.1. Bahan dan Alat

Dapur peleburan yang dipakai adalah dapur krusibel dengan bahan bakar pelumas bekas. Bahan baku yang akan dilebur adalah aluminium skrap dari limbah hasil proses pemesinan seperti pembubutan dan bercampur dengan aluminium bekas alat-alat memasak, komponen mesin, kaleng minuman ringan, yang kesemuanya ini samadengan bahan yang dimanfaatkan untuk peleburan aluminium bekas industri rakyat skala kecil. Cetakan yang dipakai berbahan baja dengan bentuk Y block (Lihat gambar 1). Untuk alat uji sifat mekanis digunakan alat uji tarik Hydraulic Universal Material Tester, alat uji kekerasan Brinnell Hardness Tester, alat uji beban kejut menggunakan Charpy Impact Terting Machine, sedangkan untuk perlakuan panas digunakan furnace listrik. Sebagai media pendingin memanfaatkan pelumas bekas kendaraan bermotor. Kesemua alat ini terdapat di laboratorium Material Teknik Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.



Gambar 1. Desain Cetakan *Y-Block*

Peleburan dilakukan mengikuti temperatur penuangan produksi baling-baling kapal dengan temperatur sebesar 800°C , dengan jarak antar krusibel dan cetakan sedekat mungkin menghindari penurunan temperatur yang cepat. Cetakan dilapisi dengan serbuk batu asahan dicampur dengan sedikit air dan gula yang bertujuan agar logam cair tidak menyatu pada cetakan dan mudah dibuka. Cetakan dipanasi terlebih dahulu agar perbedaan temperatur antara cetakan dan logam cair tidak terlalu signifikan sehingga hasil coran yang didapat tidak mengalami cacat cor. Dalam hal ini cacat cor dapat berupa adanya pori-pori pada hasil coran serta cacat hasil cetakan lainnya, yang mengakibatkan terjadinya ketidakhomogenan material hasil coran, padamana ketidakhomogenan ini, akan berpengaruh besar terhadap kemampuan material menerima beban mekanik.

Hasil peleburan yang berbentuk balok kemudian dipotong untuk dibuat spesimen untuk pengujian impact, tarik, dan kekerasan. Sebagian spesimen tersebut dipersiapkan untuk proses perlakuan panas.

Untuk memudahkan dalam penanganan spesimen maka perlu dibuat kodifikasi spesimen. (lihat Tabel 1).

Tabel 1

Kode dan Jumlah spesimen untuk pengujian sifat mekanik

Kode	Jenis Perlakuan Panas	Pengujian Sifat Mekanik		
		Tarik	Impak	Kekerasan
A	As cast	3	3	1
B	Anil	3	3	1
C	Temper	3	3	1
D	Anil+Temper	3	3	1
E	Temper+quench Pelumas Bekas	3	3	1
F	Temper+quench Air	3	3	1
G	Anil+quench Pelumas Bekas	3	3	1
H	Anil+quench Air	3	3	1
Jumlah		24	24	8

3.2. Perlakuan Panas

Pada penelitian ini sebagian spesimen akan diberikan perlakuan panas sebagai berikut:

- Annealing* pada temperatur 350°C selama 3,5 jam diikuti pendinginan dalam dapur tertutup sampai mencapai temperatur ruang. Dengan tujuan menghilangkan tegangan sisa dan memperhalus butir pada logam hasil pengecoran.
- Tempering* pada temperatur 450°C selama 3,5 jam dengan pendinginan pada temperatur ruang. Dengan tujuan untuk menghilangkan tegangan sisa dan mengurangi kekerasan pada hasil pengecoran.
- Quenching* pada temperatur 450°C selama 3,5 jam dengan media pendingin berbeda, air dan Pelumas bekas. Dengan tujuan menghasilkan permukaan yang keras.

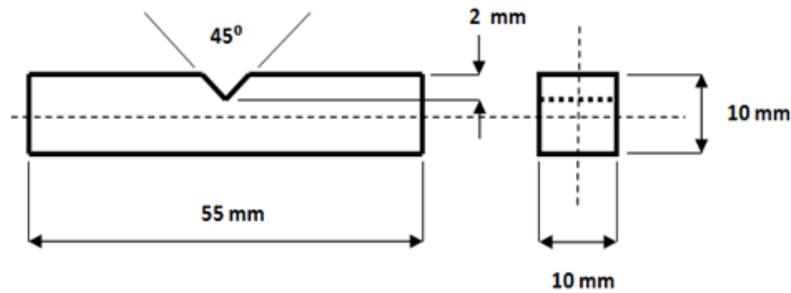
Kemudian sebagian spesimen hasil proses perlakuan panas *annealing* dilakukan proses perlakuan panas kembali, yaitu sebagai berikut:

- Hasil *annealing*, di*quenching* pada temperatur 450°C selama 3,5 jam dengan media pendingin berbeda, air dan Pelumas bekas.
- Hasil *annealing*, di*tempering* pada temperatur 450°C selama 3,5 jam dengan pendinginan pada temperatur ruang.

Keduanya ini merupakan hasil pembandingan uji (a, b dan c). Diharapkan sifat mekanik hasil coran yang mendapat perlakuan panas dapat lebih baik dari hasil coran yang tidak mendapat perlakuan panas.

3.3. Pengujian Impact

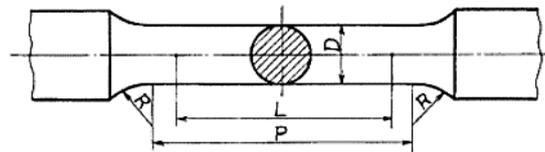
Pengujian *impact* dilakukan dengan menggunakan mesin *Charpy Impact Testing Machine*. Spesimen hasil pengecoran baik yang telah diberikan perlakuan panas atau tanpa perlakuan panas mengacu pada standar uji JIS Z 2202. (Lihat gambar 2).



Gambar 2. Dimensi Spesimen Uji Impak JIS Z 2202 (Japanese Industrial Standard, 1980).

3.4. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin *Hydraulic Universal Material Tester*. Spesimen hasil pengecoran baik yang telah diberikan perlakuan panas atau tanpa perlakuan panas harus mengacu pada standar standar uji (Japanese Industrial Standard, 1998). (Lihat gambar 3).



Gambar 3. Dimensi Spesimen Uji Tarik JIS Z 2201 (Japanese Standards Association, 1998)

Tabel 2

Dimensi Spesimen Uji tarik (JIS Z 2201, 1998)

D (mm)	P (mm)	L (mm)	R (mm)
14	60	50	15

3.5. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin *Brinell Hardness Testing Machine*. Spesimen hasil pengecoran baik yang telah diberikan perlakuan panas atau tanpa perlakuan panas mengacu pada standar uji ASTM E-10. Setiap spesimen diberikan uji kekerasan 5 titik. (Lihat gambar 4).



Gambar 4. Dimensi Spesimen Uji Kekerasan *Brinell*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa dan Pengolahan Data

Setelah semua pengujian selesai, data-data yang ada disusun dan kemudian diolah untuk menganalisa kekuatan tarik dan kekuatan impak serta kekerasan. Selanjutnya data hasil perhitungan disusun dalam bentuk tabel kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik.

4.1.1. Pengujian Komposisi Kimia

Untuk mengetahui persentase komposisi kimia yang terkandung dalam hasil coran aluminium tersebut maka dilakukan pengujian komposisi kimia menggunakan alat *Oxford Instrumen* yang dilakukan di laboratorium Teknik di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Hasil pengujian komposisi kimia seperti dilihat pada tabel 3

Tabel 3

Hasil Pemeriksaan Komposisi Kimia

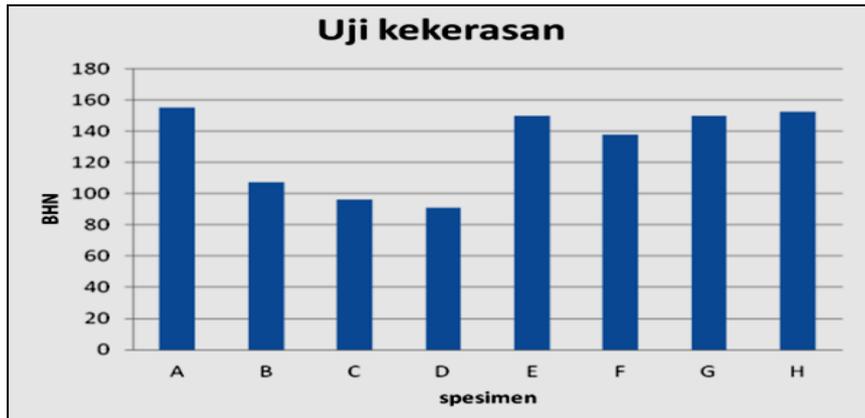
No	Parameter	Satuan	Hasil analisa
1	Aluminium (Al)	%	61,8
2	Tembaga (Cu)	%	9,00
3	Seng (Zn)	%	7,76
4	Silikon (Si)	%	4,39
5	Besi (Fe)	%	2,20
6	Magnesium (Mg)	%	1,20
7	Mangan (Mn)	%	0,46
8	Nikel (Ni)	%	0,40
9	Chrom (Cr)	%	0,16
10	Bismut (Bi)	%	0,65
11	Timbal (Pb)	%	0,35
12	Timah (Sn)	%	0,35
13	Vanadium(V)	%	0,10
14	Perak(Ag)	%	0,12
15	Kobalt(Co)	%	0,15
16	Kadmium(Cd)	%	0,16
17	Indium(In)	%	0,15
18	Titanium(Ti)	%	0,05

Dari hasil pengujian komposisi kimia yang dilakukan, diketahui bahwa unsur pepaduan hasil coran aluminium ada 12 unsur utama yaitu tembaga (Cu), seng (Zn), silikon (Zn), besi (Fe), mangan (Mn), Magnesium (Mg), Nikel (Ni), Chrom (Cr), Bismut (Bi), Timbal (Pb), Timah (Sn). Unsur pepaduan yang memiliki persentase lebih besar adalah tembaga (Cu) sebesar 9,00%. Berdasarkan buku (ASM Handbook Vol 2, 1992) menerangkan bahwa aluminium paduan tembaga adalah aluminium yang memiliki unsur tembaga yang signifikan didalamnya sehingga hasil coran dapat digolongkan kedalam golongan aluminium paduan tembaga (Al-Cu). Dominasi Cu dalam material hasil coran ini, maka aluminium hasil coran ini dapat dimasukkan kedalam kelompok Aluminium Paduan atau AA2xxx.

4.1.2. Hasil Pengujian Kekerasan

Terhadap spesimen hasil pengecoran telah dilakukan pengujian kekerasan, pengujian dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali atau titik setiap potongan spesimen. Metode yang digunakan pada pengujian ini adalah metode *Brinell* yaitu dengan menggunakan indentor bola baja dengan diameter 5 mm dan beban sebesar 500 kgf

Hasil pengukuran dibuat nilai rata-rata dan hasil perhitungan dibuat grafik seperti gambar 5.

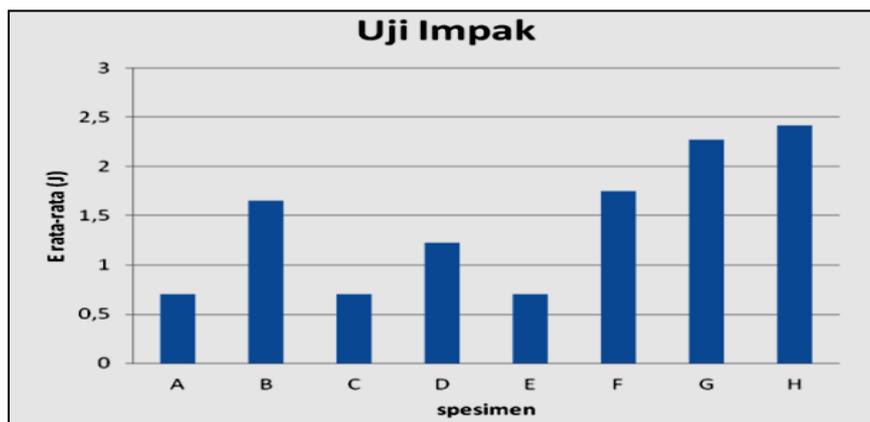


Gambar 5. Kekerasan Brinell

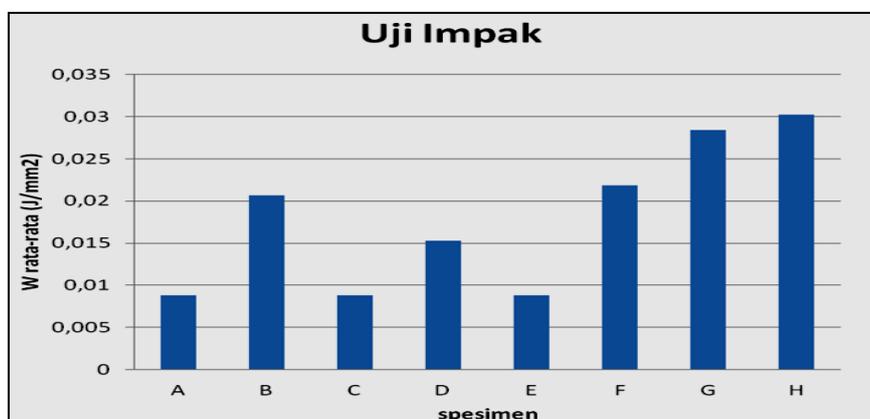
4.1.3. Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan dengan metode *charpy*. Pengujian ini dilakukan terhadap 24 (dua puluh empat) spesimen yang terdiri atas 3 (tiga) spesimen tanpa perlakuan panas (*as cast*) dan 3 (tiga) spesimen untuk masing-masing perlakuan panas. Spesimen pengujian impak mengacu pada standar JIS Z 2202.

Setelah melalui proses pengolahan data, selanjutnya dapat digambarkan seperti gambar 6 dan 7.



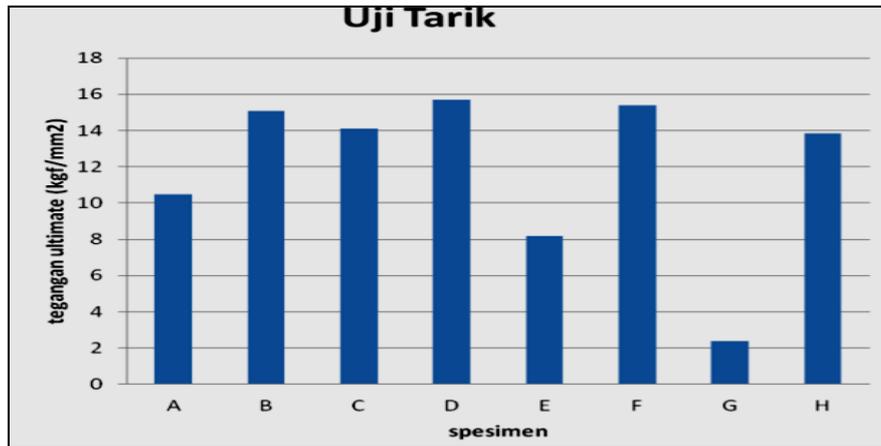
Gambar 6. Grafik energi impak (E)



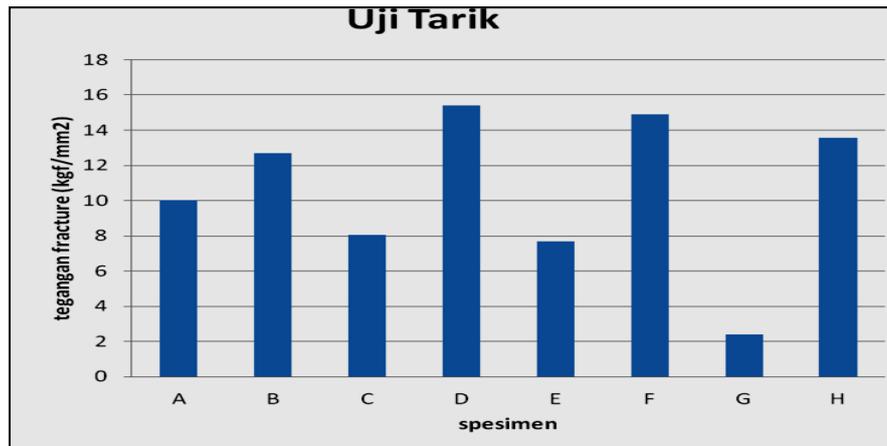
Gambar 7. Grafik energi impak persatuan luas (W)

4.1.4. Hasil Pengujian Tarik

Pengujian ini dilakukan masing-masing terhadap 24 (dua puluh empat) spesimen yang terdiri atas 3 (tiga) spesimen tanpa perlakuan panas (*as cast*) dan 3 (tiga) spesimen untuk masing-masing perlakuan panas. Spesimen pengujian tarik mengacu pada standar JIS Z 2201 dengan beban yang digunakan 3000 kgf. Hasil perhitungan telah digambarkan seperti terlihat pada gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Grafik tegangan ultimate (σ_u)



Gambar 17. Grafik tegangan fracture (σ_f)

4.2. Analisa Data

Dari hasil pengujian komposisi kimia, bahwa aluminium tersebut didominasi oleh paduan berupa tembaga (Cu), maka aluminium tersebut dapat digolongkan ke dalam aluminium paduan tembaga atau Al-Cu. Tembaga pada aluminium dapat berpengaruh baik kepada sifat mekanik yaitu memiliki sifat mekanik dan mampu mesin yang baik tetapi pengaruh buruknya adalah mampu cor yang jelek.

Sementara itu dari hasil pengolahan data kekerasan bahwa nilai rata-rata BHN aluminium tanpa perlakuan panas adalah 155,350, namun setelah diperlakukan panas *annealing* kekerasan rata-rata pun menurun menjadi 107,082. Dengan kata lain persentase BHN rata-rata turun sebesar 45,076% setelah diperlakukan panas *annealing*. Kemudian, pada kondisi setelah diperlakukan panas *tempering* kekerasan rata-rata pun menurun menjadi 96,491. Dengan kata lain persentase BHN rata-rata turun sebesar 60,999% setelah diperlakukan panas *tempering*. Selanjutnya,

diperlakukan panas *annealing+tempering* kekerasan rata-ratapun menurun menjadi 91,180. Dengan kata lain persentase BHN rata-rata turun sebesar 70,377% setelah diperlakukan panas *annealing+tempering*. Pada kondisi setelah diperlakukan panas *quenching pelumas* kekerasan rata-ratapun mengalami kenaikan menjadi 150,026. Dengan kata lain persentase BHN rata-rata naik sebesar 3,549% setelah diperlakukan panas *quenching pelumas* dan pada kondisi setelah diperlakukan panas *annealing+ quenching pelumas* kekerasan rata-ratapun menaik menjadi 137,753. Dengan kata lain persentase BHN rata-rata naik sebesar 12,775% setelah diperlakukan panas *annealing+quenching pelumas*. Selanjutnya, diperlakukan panas *quenching* air kekerasan rata-ratapun menurun menjadi 150,026. Dengan kata lain persentase BHN rata-rata turun sebesar 3,549% setelah diperlakukan panas *quenching* air dan pada kondisi setelah diperlakukan panas *annealing+quenching* air kekerasan rata-ratapun menurun menjadi 152,588. Dengan kata lain persentase BHN rata-rata turun sebesar 1,810% setelah diperlakukan panas *annealing+quenching* air. Sedangkan menurut (Samsi, Mustapa, & Badarulzaman, 2017) kekerasan meningkat dengan anil selama 2 jam diikuti dengan quench dengan media air, namun menurun bila holding timenya lebih dari 2 jam.

Dengan kata lain bahwa nilai kekerasan spesimen hasil proses perlakuan panas lebih rendah dibandingkan nilai kekerasan spesimen tanpa perlakuan panas karena menurut menurut Djoko (2004), dalam jurnal Mursalin, dkk (2009) menerangkan bahwa harga kekerasan hasil proses perlakuan panas lebih rendah dibandingkan dengan harga kekerasan hasil proses tanpa perlakuan panas hal ini disebabkan karena pada proses tanpa perlakuan panas terdapat tegangan sisa, tegangan sisa inilah yang mempengaruhi harga kekerasan pada proses tanpa perlakuan panas tinggi.

Sementara itu dari hasil pengolahan data pengujian impak terhadap aluminium tanpa perlakuan panas nilai impak rata-rata sebesar 0,703 Joule, namun setelah dilakukan perlakuan panas *annealing* nilai impak rata-rata naik menjadi 1,651 Joule. Dengan kata lain persentase nilai impak naik rata-rata sebesar 57,426% setelah diperlakukan panas *annealing*. Hal ini menandakan bahwa terjadi peningkatan penyerapan energi impak, yang berarti terjadi peningkatan kemampuan bahan untuk menahan beban tiba-tiba dan terjadi keuletan setelah dilakukan *annealing*. Selanjutnya, pada kondisi setelah dilakukan perlakuan panas *tempering* nilai impak rata-rata naik menjadi 0,703 Joule. Dengan kata lain persentase nilai impak tidak mengalami perubahan yaitu dengan nilai 0% setelah diperlakukan panas *tempering*. Kemudian, pada kondisi setelah dilakukan perlakuan panas *annealing+tempering* nilai impak rata-rata naik menjadi 1,226 Joule. Dengan kata lain persentase nilai impak naik rata-rata sebesar 42,667% setelah diperlakukan panas *annealing+tempering* dan sementara itu pada kondisi setelah dilakukan perlakuan panas *quenching pelumas* nilai impak rata-rata naik menjadi 0,703 Joule. Dengan kata lain persentase nilai impak tidak mengalami perubahan yaitu dengan nilai 0% setelah diperlakukan panas *quenching pelumas* dan pada kondisi setelah dilakukan perlakuan panas *annealing+ quenching pelumas* nilai impak rata-rata naik menjadi 1,749 Joule. Dengan kata lain persentase nilai impak naik rata-rata sebesar 59,813% setelah diperlakukan panas *annealing+ quenching pelumas*. Kemudian, pada kondisi setelah dilakukan perlakuan panas *quenching* air nilai impak rata-rata naik menjadi 2,272 Joule. Dengan kata lain persentase nilai impak naik rata-rata sebesar 69,065% setelah diperlakukan panas *quenching* air. Selanjutnya, pada kondisi setelah dilakukan perlakuan panas *annealing+quenching* air nilai impak rata-rata naik menjadi 2,419 Joule. Dengan kata lain persentase nilai impak naik rata-rata sebesar 70,946% setelah diperlakukan panas *annealing+quenching* air.

Dari keseluruhan perlakuan panas yang dilakukan terhadap spesimen, didapat bahwa kekuatan impak spesimen hasil perlakuan panas memiliki kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan kekuatan impak spesimen tanpa perlakuan panas. Peningkatan rata-rata kekuatan impak ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan proses perlakuan panas telah terjadi pengurangan tegangan sisa terhadap spesimen hasil cor.

Sementara itu dari hasil pengolahan data hasil pengujian tarik yang dilakukan terhadap aluminium yang tidak diperlakukan panas terlihat bahwa nilai σ_u adalah 10,497 kgf/mm² dan nilai σ_f adalah 10,0216 kgf/mm². Namun setelah diperlakukan panas *annealing* nilai dari σ_u naik

menjadi 15,088 kgf/mm² dan nilai σ_f menurun menjadi 12,699 kgf/mm². Dengan kata lain persentase σ_u dan σ_f turun rata-rata sebesar 30,426 % dan 21,084 % setelah diperlakukan panas *annealing*. Pada kondisi setelah diperlakukan panas *tempering* nilai dari σ_u menaik menjadi 14,112 kgf/mm² dan nilai σ_f menurun menjadi 8,062 kgf/mm². Dengan kata lain persentase σ_u meningkat sebesar 25,613% dan σ_f turun 24,295% setelah diperlakukan panas *tempering*. Kemudian pada kondisi setelah diperlakukan panas *annealing+tempering* nilai dari σ_u menaik menjadi 15,692 kgf/mm² dan nilai σ_f menaik menjadi 15,404 kgf/mm². Dengan kata lain persentase σ_u dan σ_f naik rata-rata sebesar 33,103% dan 34,944% setelah diperlakukan panas *annealing+tempering*. Selanjutnya pada kondisi setelah diperlakukan panas *quenching pelumas* nilai dari σ_u menaik menjadi 8,160 kgf/mm², nilai σ_f menurun menjadi 7,696 kgf/mm². Dengan kata lain persentase σ_u dan σ_f turun rata-rata sebesar 28,647% dan 30,202% setelah diperlakukan panas *quenching pelumas* dan sementara itu pada kondisi setelah diperlakukan panas *annealing+quenching pelumas* nilai dari σ_u menaik menjadi 15,389 kgf/mm² dan nilai σ_f menurun menjadi 14,913 kgf/mm². Dengan kata lain persentase σ_u dan σ_f turun rata-rata sebesar 31,786% dan 32,801 % setelah diperlakukan panas *annealing+quenching pelumas*. Kemudian pada kondisi setelah diperlakukan panas *quenching air* nilai dari σ_u menaik menjadi 2,391 kgf/mm² dan nilai σ_f menurun menjadi 2,391 kgf/mm². Dengan kata lain persentase σ_u dan σ_f turun rata-rata sebesar 338,914% dan 319,005% setelah diperlakukan panas *quenching air*. Selanjutnya pada kondisi setelah diperlakukan panas *annealing+quenching air* nilai dari σ_u menaik menjadi 13,841 kgf/mm² dan nilai σ_f menurun menjadi 13,580 kgf/mm². Dengan kata lain persentase σ_u dan σ_f naik rata-rata sebesar 24,159% dan 26,203% setelah diperlakukan panas *annealing+quenching air*.

Dari keseluruhan proses perlakuan panas yang dilakukan terhadap spesimen didapat bahwa nilai kekuatan tarik spesimen hasil proses perlakuan panas lebih tinggi dibandingkan nilai kekuatan tarik spesimen tanpa perlakuan panas karena telah diketahui dari hasil pengujian komposisi kimia bahwa spesimen hasil cor termasuk dalam aluminium paduan tembaga (Cu). Menurut (Rahardjo & Solichan, 2010) di dalam jurnalnya menjelaskan bahwa unsur tembaga (Cu) sebagai pepadu pada paduan aluminium cor dapat memperbaiki kekuatan tarik. Juga dikatakan (Mehdi, Sharma, Anas, & Sharma, 2015) bahwa peningkatan jumlah Cu meningkatkan nilai kekuatan tarik, kekerasan dan fatik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian aluminium daur ulang dari dapur krusibel yang mengalami berbagai jenis proses perlakuan panas dan yang tidak mengalami proses perlakuan panas, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan proses perlakuan panas terhadap spesimen hasil cor didapat sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan spesimen hasil cor tanpa perlakuan panas.
2. Terjadi perubahan nilai rata-rata kekuatan dampak dan rata-rata kekuatan tarik setelah dilakukan berbagai jenis proses perlakuan panas terhadap spesimen. Nilai rata-rata kekuatan dampak tertinggi dimiliki oleh spesimen yang mengalami proses perlakuan panas *annealing* kemudian *diquenching* dengan media air yaitu untuk rata-rata energi dampak sebesar 2,41954988 J/mm² dan untuk nilai rata-rata nilai energi dampak persatuan luas (W) sebesar 0,030244374. Sedangkan untuk rata-rata nilai tegangan *ultimate* (σ_u) tertinggi dimiliki oleh spesimen yang *diannealing* kemudian *ditempering* yaitu sebesar 15,692 kgf/mm² dan untuk rata-rata nilai tegangan *fracture* (σ_f) tertinggi dimiliki oleh spesimen yang *diannealing* kemudian *ditempering* yaitu sebesar 15,404 kgf/mm². Sedangkan untuk nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh spesimen tanpa perlakuan panas yaitu sebesar 152,787.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook. (2000) *Mechanical Testing and Evaluation*. Vol 8. United States Of America: ASM International.
- ASTM International. (2004) *Mechanical Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*. United States Of America: ASTM Internation
- ASM Internasional. (1997) ASM Handbook, *Materials Selection and Design*. Volume 20. United States: ASM International.
- Cobden, R. Alcan., and Banbury. (1994) *TALAT Lecture 1501. Aluminium : Physical Properties, Characteristics and Alloys*. EEA-European Aluminium Assosiation.
- Indonesia. Menteri negara Lingkungan Hidup (2012) *Pedoman Pelaksanaan Reduce, Reuse, Dan Recycle Melalui Bank Sampah*. Indonesia: Menteri Negara Lingkungan Hidup. Available at: [http://jdih.menlh.go.id/pdf/ind/IND-PUU-7-2012-Permen% 20LH%2013% 20th% 202012% 20bank%20sampah.pdf](http://jdih.menlh.go.id/pdf/ind/IND-PUU-7-2012-Permen%20LH%2013%20th%202012%20bank%20sampah.pdf) (Accessed 20 January 2014)
- Japanese Standards Association. (1980) *Japanese Industrial Standar , Test Pieces for Impact Test for Metallic Materials*. Japan: Japanese Standards Association.
- Japanese Standards Association. (1998) *Japanese Industrial Standar , Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials*. Japan: Japanese Standards association.
- Japanese Standards Association. (2006) *Japanese Industrial Standar , Method of Bend Test for Metallic Materials*. Japan: Japanese Standards association.
- Mursalin,. Pratapa, S. and Faisal, H. (2009) *Pengaruh Perlakuan Panas Aging Terhadap Perilaku Korosi Paduan Aluminium Seri 6061 dalam Larutan 0,05m Hcl*. Seminar Nasional Pascasarjana IX – ITS, Surabaya,:1-8.
- Ningsih, S.U. (2010) *Analisis Perubahan Sifat Mekanik Paduan Aluminium 7475 Melalui Proses Pengecoran Dengan Cetakan Pasir*. Tugas Akhir S1 tidak dipublikasikan. Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- Simpson, J. (1999) *Aluminium In the Construction Industry*. London: Kawneer.
- Totten, G.E. and Mackenzie, D. S. (Ed.). (2003) *Handbook of Aluminum Physical Metallurgy and Processes*. Vol 1. United States of America: Marcel Dekker, Inc.
- William D. Callister, Jr. and David G. Rethwisch, 2009, *An Introduction - Materials Science and Engineering*, Eight Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- ASM Handbook Vol 2. (1992). *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM Handbook. ASM International.
- Cobden, R., Alcan, & Banbury. (1994). *Aluminium : Physical Properties , Characteristics and Alloys. TALAT Lecture 1501*. Retrieved from https://static.treatstock.com/static/fxd/wikiMaterials/aluminum/files/aluminium_properties_talat.pdf
- Japanese Industrial Standard. (1980). Z 2202.

Japanese Industrial Standard. (1998). *JIS Z 2201*.

Lumley, R. N. (2018). *Fundamentals Of Aluminium Metallurgy. Productions, Processing and Applications*. Wood Publishing - Elsevier. Retrieved from <https://book.global/book/5413441/499caf>

Mehdi, H., Sharma, S., Anas, M., & Sharma, N. (2015). The Influences of Variation of Copper Content on the Mechanical Properties of Aluminium Alloy International Journal of Material Science The Influences of Variation of Copper Content on the Mechanical Properties of Aluminium Alloy, (August).

Rahardjo, H. S., & Solichan. (2010). Analisa karakterisasi pada limbah velg dan. *Majalah Ilmiah Teknik Mesin (TRAKSI)*, 10(2). Retrieved from <http://103.97.100.145/index.php/jtm/article/view/600>

Samsi, M. A., Mustapa, M. S., & Badarulzaman, N. A. (2017). The Effect of Quenching on Physical Characteristics of Recycled AA6061 Aluminum Chips, 040002. <https://doi.org/10.1063/1.4983604>

Schmitz, C. (2014). *Handbook of Aluminium Recycling* (2nd ed.). Essen: Vulkan-Verlag GmbH.

Surono, B., & Nofri, M. (2011). Perubahan Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Al-Mg-Si Akibat Variasi Temperatur Pemanasan. *Jurnal Ilmiah Bina Teknik*, 7(2). Retrieved from [http://library.upnvj.ac.id/pdf/artikel/Artikel_jurnal_ilmiah/Bina_teknika/BT-Vol.7-No.2-Ed.Nov2011/11.Jurnal Ilmiah Bagus S & Medi \(Dosen ISTN\) 17-11-2011.pdf](http://library.upnvj.ac.id/pdf/artikel/Artikel_jurnal_ilmiah/Bina_teknika/BT-Vol.7-No.2-Ed.Nov2011/11.Jurnal%20Ilmiah%20Bagus%20S%20&%20Medi%20(Dosen%20ISTN)%2017-11-2011.pdf)

Totten, G. E., & MacKenzie, D. S. (2003). *Handbook of Aluminum Nolume 2 - Alloy Production And Materials Manufacturing*. Marcel Dekker. USA.