

BUKU AJAR:

**PELUMAS BEKAS SEBAGAI BAHAN
BAKAR UNTUK PELEBURAN
ALUMINIUM BEKAS:**

**DITINJAU DARI CARA
PELEBURAN SECARA LANGSUNG
DAN TIDAK LANGSUNG
SERTA
PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA,
SIFAT MEKANIK,
SIFAT LELAH SERTA
OKSIDASI MATERIAL**

**Nukman
Irsyadi Yani
Amir Arifin
Firdaus**



**Sanksi pelanggaran Pasal 72
Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002
Tentang Perubahan atas Undang-undang Nomor 12 Tahun 1997
Pasal 44 Tentang Hak Cipta**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait, sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

**BUKU AJAR
PELUMAS BEKAS SEBAGAI BAHAN BAKAR
UNTUK MELEBUR ALUMINIUM BEKAS :
CARA PELEBURAN, UJI KOMPOSISI KIMIA,
UJI SIFAT MEKANIK, UJI SIFAT FATIK
SERTA OKSIDASI MATERIAL**

Nukman, Irsyadi Yani, Amir Arifin, Firdaus

UPT. Penerbit dan Percetakan
Universitas Sriwijaya 2020
Kampus Unsri Palembang
Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139
Telp. 0711-360969
email : unsri.press@yahoo.com, penerbitunsri@gmail.com
website : www.unsri.unsripress.ac.id

Anggota APPTI No. 026/KTA/APPTI/X/2015
Anggota IKAPI No. 001/SMS/2009

Cetakan Pertama, Mei 2020
102 halaman : 15 x 23 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Hak Terbit Pada Unsri Press

ISBN : 978-979-587-852-0 (PDF)

KATA PENGANTAR

Dipanjatkan syukur Alhamdulillah ke khadirat Allah SWT atas selesainya buku ajar ini dibuat. Buku ini merupakan tugas yang dibebankan atas penelitian skema Profesi dana anggaran tahun 2017 dan 2018 dari Universitas Sriwijaya. Isi daripada buku ini sebagian besar merupakan hasil penelitian selama dua tahun yang telah diterbitkan dalam beberapa jurnal internasional dan nasional, yang juga diambil dari beberapa jurnal dari hasil penelitian tahun sebelumnya dan dari beberapa prosiding seminar serta skripsi mahasiswa bimbingan tugas akhir. Buku ini dapat dimanfaatkan oleh mahasiswa teknik mesin bidang material teknik untuk pendukung mata kuliah material teknik, perlakuan panas dan perlakuan permukaan serta juga dapat dimanfaatkan sebagai referensi untuk penyelesaian tugas akhir. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan maupun penulisan buku ajar ini, terimakasih disampaikan kepada para mahasiswa bimbingan skripsi dan disertasi, juga terimakasih disampaikan kepada teknisi dan laboran dari laboratorium Material Teknik. Tulisan ini sangat jauh dari sempurna, segala kritik saran yang membangun diterima dengan senang hati dan akan menjadi dasar perbaikan tulisan ini dimasa mendatang. Semoga buku ini bermanfaat bagi kita semua.

Indralaya, Nopember 2019
Penulis,

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Pelumas Bekas dan Pemanfaatannya	1
1.2. Aluminium Bekas dan Pemanfaatannya	3
BAB 2 SISTEM PENGECORAN DAN PENGUJIAN HASIL PENGECORAN	7
2.1. Pengecoran Logam	7
2.2. Pengujian Sifat Mekanik Hasil Pengecoran	8
2.3. Uji Komposisi Kimia	8
2.4. Thermo Gravimetri Analyzer dan Dekomposisi thermal	9
2.5. Energi Aktivasi	10
BAB 3 PELUMAS BEKAS SEBAGAI BAHAN BAKAR	15
BAB 4 SIFAT FISIK PELUMAS BEKAS DAN SISTEM PEMBAKARAN	17
4.1. Sifat Fisik Pelumas Bekas	17
4.2. Sistem Pembakaran	20
BAB 5 SISTEM PELEBURAN DAN UJI KOMPOSISI DAN SIFAT MEKANIK HASIL PELEBURAN	25
5.1. Sistem Peleburan	26
5.2. Uji Komposisi Kimia	28
5.3. Uji Sifat Mekanik	30
5.4. Oksidasi Material	74
5.5. Keausan	77
KESIMPULAN	91
UCAPAN TERIMAKASIH	102
DAFTAR PUSTAKA	103

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1	Tiga Jenis Dapur Krusibel 8
Gambar 2	Hubungan Nilai Kalori dan Campuran 18
Gambar 3	System Pemipaan 20
Gambar 4	Instalasi Lengkap Tungku Sederhana 21
Gambar 5	Pengukuran dengan Infra-red Gun 22
Gambar 6	Tungku Api (Fire Furnace) (Pembakaran Langsung-PL) atau Direct Furnace (DF) 25
Gambar 7	Tungku Krusibel (Pembakaran Tidak Langsung-PTL) atau Indirect Furnace (IF) 26
Gambar 8	Contoh Tungku Api Pembakaran Langsung 26
Gambar 9	Contoh Tungku Krusibel (Pembakaran Tidak Langsung – PTL 27
Gambar 10	Batangan Aluminium hasil Coran 27
Gambar 11	Sampel Uji 28
Gambar 12	Metode Pengujian Impak 30
Gambar 13	Mesin Uji Impak Charpy 31
Gambar 14	Prinsip Uji Impak dengan Pendulum 32
Gambar 15	Sampel Uji Impak Charpy 32
Gambar 16	Sampel Uji Impak 33
Gambar 17	Uji Impak CANS 36
Gambar 18	Uji Impak Aluminium Alloy 36
Gambar 19	Daerah Elastis dan Plastis Serta Fenomena Yield 38
Gambar 20	Mesin Uji Tarik Hydraulic Universal Material Tester. 39
Gambar 21	Sampel Uji bentuk Plat 39
Gambar 22	Sampel Uji bentuk Polos (batangan) 40
Gambar 23	Sampel Uji bentuk Umum 41
Gambar 24	Sampel Uji untuk Potongan Pipa atau plat 41
Gambar 25	Contoh Sampel Uji Tarik Bahan Aluminium 42
Gambar 26	Uji Tarik CANS 45
Gambar 27	Uji Tarik Aluminium Alloy 49
Gambar 28	Alat Uji Kekerasan Brinell 50
Gambar 29	Alat Uji Kekerasan Vickers 52
Gambar 30	Alat Uji Kekerasan Rockwell 55

Gambar 31	Sampel Uji Kekerasan	55
Gambar 32	Uji Kekerasan Brinell CANS	60
Gambar 33	Uji Kekerasan Brinell Aluminium Alloy	60
Gambar 34	Siklus Bolak Balik	63
Gambar 35	Siklus Reverse	63
Gambar 36	Siklus Acak	63
Gambar 37	Dimensi Spesimen Uji Fatik	64
Gambar 38	Sampel Uji Fatik	64
Gambar 39	Mesin uji fatigue Torsion Repeated and Bending Fatigue Machine	65
Gambar 40	Pengaruh peleburan Ulang pada Beban Berulang	67
Gambar 41	Pengaruh Perlakuan Panas pada Beban Berulang	68
Gambar 42	Hubungan antara massa, waktu dan temperatur	71
Gambar 43	Laju Penurunan massa terhadap Temperatur	71
Gambar 44	Sampel Uji Keausan (Belum pengamplasan)	74
Gambar 45:	Laju Keausan	77
Gambar 46	Grafik Uji Tarik dari Bahan Baku yang Dipanaskan dan Tanpa Pemanasan	81
Gambar 47	Grafik Uji Impak dari Bahan Baku yang Dipanaskan dan Tanpa Pemanasan	82
Gambar 48	Grafik Uji Kekerasan dari Bahan Baku yang Dipanaskan dan Tanpa Pemanasan	83

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1	Nilai Kalori (kkal/kg) 18
Tabel 2	Sifat Fisik Pelumas baru, Bekas dan Campuran dengan Kerosene 20
Tabel 3	Temperatur Terukur Campuran 90% Pelumas Bekas dan 10% Kerosene 22
Tabel 4	Hasil Uji Komposisi CANS 29
Tabel 5	Hasil Uji Impak CANS 34
Tabel 6	Hasil Uji Impak Aluminium Alloy AA 35
Tabel 7	Uji Tarik CANS 43
Tabel 8	Uji Tarik Aluminium Alloy (AA) 47
Tabel 9	Kombinasi antara Diameter Indenter dan Beban Uji 51
Tabel 10	Hubungan antara tanda kekerasan dan beban pengujian 53
Tabel 11	Hubungan antara kekerasan Rockwell dan skala kekerasan 54
Tabel 12	Kekerasan Brinell CANS 56
Tabel 13	Kekerasan Brinell ALuminium Alloy (AA) 58
Tabel 14	Perhitungan Uji Fatik 66
Tabel 15	Hasil Pengujian Komposisi Kimia 69
Tabel 16	Proses TGA 72
Tabel 17	Keausan CANS 76
Tabel 18	Keausan Aluminium Alloy (AA) 77
Tabel 19	Kodifikasi Sampel 79
Tabel 20	Komposisi Kimia Hasil Coran 80

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Pelumas Bekas dan Pemanfaatannya

Kebutuhan hidup manusia semakin hari semakin meningkat. Jumlah penduduk yang semakin meningkat, telah meningkatkan keperluan kebutuhan sekunder. Sehingga dalam hal pemenuhan kebutuhan ini, telah meninggalkan sisa yang umum disebut sebagai limbah maupun sampah.

Undang-Undang Republik Indonesia No. 18 Tahun 2008 (Pemerintah Republik Indonesia, 2008), pasal 1 point 1 mendefinisikan sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sedangkan berdasarkan Ketentuan Umum Undang Undang No 32 Tahun 2009 (Pemerintah Republik Indonesia, 2009), yang memberikan batasan pengertian istilah Limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan, dan limbah pelumas bekas adalah termasuk dalam Limbah B3. Sedangkan limbah pelumas bekas dalam kegiatan sehari-hari dihasilkan dari berbagai macam mesin.

Sampah dalam hal ini berkenaan dengan sisa kegiatan. Beberapa sampah yang ada disekeliling kehidupan manusia adalah sampah padatan aluminium dan plastik yang berbentuk padatan. Umumnya, aluminium yang termasuk dalam jenis logam ringan dimanfaatkan untuk disegala bidang. Antara lain, aluminium dipakai sebagai komponen elemen mesin, tempat memasak, bungkus atau kemasan makanan dan minuman sampai dengan konstruksi. Sampah dari bermacam sumber ini dapat dimanfaatkan kembali dengan cara mendaur ulangnya menjadi bahan yang berguna.

Menurut peraturan menteri negara Lingkungan Hidup No.13 tahun 2012 (Indonesia, 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.

Pada sisi lain, dalam beberapa kajian telah diungkapkan beberapa hal tentang penggunaan pelumas bekas.

(Naima, Liazid and Mnaouer, 2013) memanfaatkan pelumas bekas, minyak goreng bekas dan minyak hasil proses plastik bekas sebagai bahan bakar pengganti minyak solar untuk motor diesel. Dinyatakan bahwa pelumas bekas adalah limbah yang sangat melimpah dan menjadi salahsatu jenis polutan saat ini.

(Zhang *et al.*, 2009) menyatakan, pada masa kini, dengan biaya teknik yang tinggi, pencampuran minyak dengan konsentrasi tertentu telah dapat diterima.

Dinyatakan oleh (Jhanani. S and Kurian Joseph, 2011), bahwa minyak bekas secara umum diartikan sebagai setiap turunan minyak dari minyak berat atau campuran-campuran yang mengandung minyak sintetis termasuk minyak bekas mesin, minyak kompresor, minyak roda gigi, dan lainnya. Proses pembersihan yang telah dipakai dipakai adalah *clay treatment*, dengan dua produk yang dihasilkan yaitu pelumas daur ulang dan limbah tanah liatnya yang dibuat menjadi batu tanah (bata).

Kajian yang dilakukan telah menghasilkan sifat fisik pelumas bekas yang dicampur dengan kerosene. Campuran kedua minyak ini telah menunjukkan kemampuan bakar yang sangat baik. Hal ini ditunjukkan dengan kemampuan peleburan aluminium bekas kaleng minuman. Juga hasil peleburan dan pengecoran telah menunjukkan hasil kekuatan yang baik. Kajian tersebut telah dapat memanfaatkan dua limbah keseharian menjadi hal yang berguna (Nukman; Sipahutar, Riman; Arief, 2015); (Nukman, Andi Kirniawan Lako, *et al.*, 2016).

1.2 Aluminium Bekas dan Pemanfaatannya

Aluminium adalah logam yang paling umum dijumpai di bumi oleh karena itu, aluminium memberikan sumber bahan baku yang sangat melimpah setelah oksigen dan silikon. Tapi aluminium merupakan logam yang sangat berusia muda. Penggunaan untuk industri berawal dari 120 tahun yang lalu. Kehidupan modern tak terbayangkan tanpa aluminium. Bagaimana dapat bertransportasi di udara dan teknologi ruang angkasa diwujudkan tanpa menggunakan aluminium (Schmitz, 2007).

Dalam kehidupan sehari-hari sering dijumpai bahan aluminium dalam bentuk seperti alat memasak, konstruksi bangunan maupun *spare part* kendaraan dan lain-lain. Aluminium mengambil peran yang besar dalam eksplorasi dan penggunaan aluminium di dunia, karena besarnya penggunaan aluminium pada transportasi kendaraan.

Secara garis besar paduan aluminium tergolong dalam dua kelompok, yaitu paduan tempa dan paduan cor. Berikut penjelasan singkat dari kedua paduan tersebut.

1. *Aluminium Wrought Alloy* (Paduan Tempa)

Aluminium Wrought Alloy merupakan aluminium belum sepenuhnya menjadi produk. Disebut demikian karena aluminium ini masih butuh proses pengolahan lanjutan untuk dapat menjadi suatu produk yang siap pakai. Aluminium ini biasanya berupa batangan, plat atau bentuk lainnya. Aluminium ini dapat diklasifikasikan menurut komposisi kimia dan paduannya.

Paduan ini juga dibedakan atas paduan yang tidak bisa diberi perlakuan panas (*Non Heattreatable alloys*) dan paduan yang dapat diberi perlakuan panas (*Heattreatable alloys*). Paduan yang tidak bisa diberi perlakuan panas merupakan paduan yang memiliki kekuatan yang rendah. Sedangkan untuk paduan yang dapat diberi perlakuan panas merupakan paduan yang memiliki sistem pelarut yang terbatas dalam keadaan padat.

2. *Aluminium Cast Alloy* (Paduan Cor)

Aluminium Cast Alloy memiliki sifat mudah dibuat, ringan, dan tahan terhadap karat. Paduan ini dapat dituang dengan baik, memiliki kekuatan yang lebih rendah dari jenis *Aluminium Wrought Alloy*, akan tetapi lebih kuat dari pada aluminium murni.

Menurut (Kaufman and Rooy, 2004) kaleng minuman ringan menggunakan paduan aluminium seri 3004 dan 3104. Sedangkan untuk *velg* kendaraan menggunakan paduan aluminium cor dengan seri A356.0. Untuk alat memasak umumnya didapat dari hasil daur ulang dan untuk konstruksi umum digunakan seri 7xx.x.

Aluminium dapat ditambah dengan paduan berbagai logam murni, sebab logam ini tidak kehilangan sifat-sifat mekanisnya, sifat ringan, sifat mampu cornya yang dapat diperbaiki dengan menambah berbagai unsur-unsur lain. Unsur-unsur paduan itu adalah silisium, tembaga, magnesium, nikel, mangan, dan sebagainya yang dapat merubah sifat paduan aluminium.

Aluminium adalah logam putih keperakan bersinar dan memiliki konduktivitas listrik tinggi. Hal ini ditandai dengan structure FCC yang mengarah keuletan yang baik. Secara kimiawi, aluminium menunjukkan karakteristik dari logam dasar reaktif yang tinggi dengan kelarutan tinggi terhadap hidrogen dalam fase cair dan kecenderungan kuat untuk membentuk senyawa aluminium oksida. Hal ini menyebabkan logam ini tahan terhadap lingkungan karena ada lapisan permukaan yang menutup logam terhadap serangan kimia. Logam ini memiliki kepadatan 2.7 g/cm^3 , titik leleh $991 \text{ }^\circ\text{K}$ dan titik didih $2.603 \text{ }^\circ\text{K}$ (Schmitz, 2007).

Memperhatikan banyaknya limbah pelumas bekas dan sampah aluminium dari hasil kegiatan keseharian masyarakat, maka banyak kajian telah dilakukan. Pemanfaatan limbah pelumas bekas dan sampah aluminium memberikan nilai ekonomis yang besar bagi masyarakat berekonomi lemah. Hasil ini sudah menjadi beberapa kajian yang mempunyai rantai teknologi dan ekonomi

yang panjang. Teknologi sederhana bagi memanfaatkan pelumas bekas sebagai bahan bakar dan memanfaatkan aluminium bekas sebagai daur ulang sangat membantu bagi industri kecil. Pelumas bekas yang dipakai sebagai bahan bakar dan mencairkan aluminium memberikan pengaruh besar terhadap unsur kimia aluminium. Aksi pembakaran bahan bakar terhadap aluminium mengakibatkan reaksi kimia pada temperatur tinggi. Sehingga dapat diperkirakan adanya pengaruh pemanasan bahan bakar terhadap cairan aluminium. Telah diketahui bahwa sifat mekanik material logam sangat dipengaruhi oleh unsur paduannya.

Dengan memanfaatkan dan mendaur ulang limbah pelumas bekas dan sampah aluminium bekas, maka terpenuhilah konsep pengembangan berkelanjutan. Dalam kajian yang dilakukan telah dipakai pelumas bekas yang sebelumnya disaring filter dengan ukuran *Mesh screen* yang sesuai dengan kemampuan atomisasi pelumas bekas pada burner.

BAB 2

SISTEM DAN PENGUJIAN HASIL PENGECORAN

2.1 Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah proses menuangkan secara langsung logam cair yang didapat dari biji besi kedalam cetakan. Sedangkan coran itu sendiri adalah logam yang dipanaskan sampai temperatur yang cukup tinggi untuk benar-benar mengubahnya menjadi keadaan cair, lalu dituang kedalam cetakan, kemudian didinginkan dan membeku. Untuk membuat coran, harus dilakukan proses-proses seperti: pencairan logam, pembuatan cetakan, persiapan, penuangan logam cair ke dalam cetakan, pembongkaran dan pembersihan coran (Groover, 2010).

Tungku Peleburan

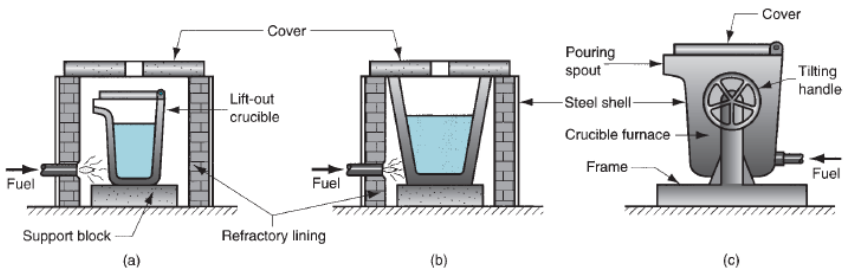
Untuk mencairkan logam bermacam-macam tungku dipakai. Pemilihan tungku tergantung pada beberapa faktor seperti paduan logam yang akan dicor, temperatur lebur dan temperatur penuangan, kapasitas tungku yang dibutuhkan, biaya investasi, pengoperasian, pemeliharaan, dan polusi terhadap lingkungan. Beberapa jenis tungku peleburan yang sering digunakan dalam bengkel cor adalah:

1. Tungku Pembakaran Langsung (*direct fuel-fired furnace*)

Tungku pembakaran langsung terdiri dari tungku kecil yang terbuka. Logam yang akan dilebur ditempatkan di dalam tungku tersebut, dan dipanaskan dengan pembakar (burner) yang ditempatkan disebelah tungku. Atap tungku membantu pemanasan dengan memantulkan bunga api ke dalam tungku peleburan. Bahan bakar yang biasa digunakan adalah gas alam. Dibagian bawah tungku terdapat lubang saluran untuk mengalirkan logam cair hasil peleburan. Tungku jenis ini biasanya digunakan untuk melebur logam non-besi seperti paduan tembaga dan aluminium (Groover, 2010).

2. Tungku Krusibel (*crucible furnace*)

Tungku ini melebur logam tanpa berhubungan langsung dengan bahan pembakaran tidak langsung (*indirect fuel-fired furnace*). Tungku krusibel digunakan untuk peleburan logam non-besi seperti perunggu, kuningan, paduan seng dan aluminium. Kapasitas tungku umumnya terbatas hanya beberapa ratus pound saja (Groover, 2010).



Gambar 1. Tiga Jenis Tungku Krusibel (Groover, 2010)

Dalam gambar 1 ditunjukkan 3 (tiga) jenis tungku krusibel yang biasa digunakan:

- (a) Krusibel Angkat (*lift-out crucible*),
- (b) Pot Tetap (*stationary pot*),
- (c) Tungku Tukik (*tilting-pot furnace*).

2.2 Pengujian Sifat Mekanik Hasil Pengecoran

Material hasil coran yang telah diperlakukan panas ataupun tidak diperlakukan panas perlu dilakukan pengujian mekanik guna mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan sifat mekaniknya setelah peleburan material. Uji sifat mekanik meliputi uji tarik, impak dan kekerasan. Juga dapat dimasukkan dalam kategori ini adalah uji fatik material dan keausan.

2.3 Uji Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur kimia yang terkandung pada material yang diujikan.

2.4 Thermo Gravimetri Analyzer dan Dekomposisi thermal

Thermogravimetri analyzer (TGA) adalah suatu teknik analitik untuk menentukan stabilitas thermal satu material dan fraksi komponen dengan menghitung perubahan berat yang dihubungkan dengan perubahan temperatur. Metode ini memberikan hasil yang baik saat digunakan untuk menganalisis secara kuantitatif, adanya reaksi tertentu terjadi selama perubahan temperatur panas dan adanya variasi perubahan massa secara signifikan yang lebih besar (Nicolaescu, Tardos and Riman, 1994).

Kurva hilangnya massa yang dihubungkan dengan perubahan temperatur. Kurva hilangnya massa dapat digunakan untuk mengetahui titik hilangnya berat. TGA biasanya digunakan untuk menentukan karakteristik material seperti polimer. Dengan melakukan pengujian TGA maka akan didapat kurva termogram perbandingan antara perubahan berat terhadap temperatur yang bisa digunakan untuk menghitung energi aktivasi dan dekomposisi termal. Biasanya pengujian thermogravimetri dilakukan pada atmosfer yang inert seperti helium, argon, atau nitrogen untuk melambatkan oksidasi.

Reaksi dekomposisi adalah jenis reaksi kimia dimana senyawa tunggal terurai menjadi dua atau lebih unsur atau senyawa baru. Dekomposisi termal adalah reaksi dekomposisi yang melibatkan sumber energi seperti panas (Indo and Nukman, 2019).

Pemahaman tentang oksidasi logam sampai sekarang banyak yang hanya memperhatikan kondisi korosi dimana elektrolit cair menjadi penyebab terbentuknya korosi. Logam dan paduannya juga ikut bereaksi dengan udara sekitar untuk membentuk oksidasi luar, pada oksidasi logam bertemperatur tinggi sangat penting dalam perancangan teknik gas turbin, mesin roket dan peralatan petrokimia bertemperatur tinggi. Ketika lapisan oksidasi logam bereaksi dengan oksigen akan membentuk proses

elektrokimia dan prosesnya tidak mudah untuk menggabungkan logam dan oksigen (Smeltzer, 1956).

2.5 Energi Aktivasi

Untuk mengetahui besarnya energy kinetis atau energi aktivasi yang diperlukan untuk proses termal dekomposisi material. Pada proses dekomposisi yang memakai TGA, terdapat hubungan antara berkurangnya masa aluminium akibat meningkatnya temperatur. Bila kehilangan masa adalah suatu fungsi dari temperatur pada laju pemanasankonstan (dengan laju pemanasan sebagai parameter), maka dapat diasumsikan bahwa laju dekomposisi sesaat (laju kehilangan berat), refleksi dari kehilangan berat, adalah fungsi dari fraksi material yang tidak terdekomposisi (Nukman, 2008).

Pada tahun 1889 Arhenius mengusulkan sebuah persamaan empirik yang memberikan nilai dasar dari hubungan antara energi aktivasi dengan laju proses reaksi. Persamaan Arhenius menggambarkan pengaruh temperatur terhadap konstanta laju reaksi. Persamaan dibawah ini kemudian ditulis ulang (Askeland, Fulay and Wright, 2011):

$$K = A \cdot e^{-E/RT}$$

A=faktor frekuensi atau faktor Arhenius

E=Energi aktivasi (J/mol)

R=Konstanta gas (8,314 J/mol K)

T=Temperatur absolut (K)

Atau dapat ditulis sebagai: $\ln k = \ln A - E/RT$

dan disederhanakan menjadi: $\ln k = \ln A - \frac{E}{RT}$

Persamaan terakhir merupakan persamaan garis lurus X adalah 1/T dan sumbu Y adalah ln k, kemiringan garis sama dengan (-EA/RT). Maka untuk itu energi aktivasi dapat dihitung.

Menurut penelitian (Nukman, 2008), dekomposisi material batubara dimulai dengan pelepasan kadar air, walau temperatur puncak pelepasan air dari ketiga jenis batubara ini kurang daripada 100°C, namun proses lanjutannya yang merupakan pelepasan kadar air yang terdapat pada pori batubara berlangsung antara 177°C sampai dengan 211°C. Pada daerah temperatur akhir ini adalah proses dekomposisi atau devolatisasi kadar *volatile matter* batubara. Puncak daripada proses ini untuk semi antrasit dan bituminus ternyata sama yaitu terjadi pada temperatur 211°C, yang berbeda dengan sub bituminus yaitu pada 420,8°C. Menurut penelitian (Nicolaescu, Tardos and Riman, 1994), sebuah metode telah dikembangkan untuk analisis gravimetrik karbon, nitrogen, dan oksigen dalam aluminium nitrida. Hal ini didasarkan pada pemisahan dinamis oksidasi karbon dan aluminium nitride. Reaksi yang terjadi ketika sampel dipanaskan di udara dengan tingkat pemanasan yang tepat.

Menurut Penelitian (Indo and Nukman, 2019), adalah Energi aktivasi yang dibutuhkan hingga terjadi dekomposisi material adalah lebih besar pada pipa PVC yang telah terpapar cahaya matahari selama 5 tahun dari pada PVC yang baru, poin diatas menunjukkan bahwa ketidak homogenan PVC (x) yang dijadikan sample yakni pipa pvc yang dijadikan sample pipa pvc yang berusia 5 tahun yang terbuka terkontaminasi zat pengotor, energi aktivasi yang dibutuhkan hingga terjadi dekomposisi material adalah lebih kecil dari botol bayi yang telah dilakukan perlakuan panas, energi aktivasi yang dibuthkan pada material PP(x) lebih kecil dari pp dikarenakan kerusakan material dari PV(x), energi aktivasi yang dibutuhkan hingga terjadi dekomposisi material pada mangkok melamine yang diberikan perlakuan panas dituang air mendidih didalamnya sedikit lebih besar dari pada melamine baru, pada titik temperatur 227°C, melamine (x) lebih dahulu terdekomposisi daripada melamine yang tidak diberikan pelakuan panas.

Dibawah ini merupakan beberapa kajian pustaka yang ini didapat dari jurnal-jurnal yang membahas tentang material aluminium maupun aluminium *recycle*, peleburan aluminium dan proses *heat treatment* pada aluminium paduan.

(AlSaffar and Bdeir, 2008) pada jurnalnya yang berjudul:”*Recycling of Aluminium Beverage Cans*” Hasil penelitian tersebut menyatakan adalah negara-negara maju sekarang memberikan kontribusi untuk melindungi lingkungan dengan memanfaatkan semua bahan daur ulang untuk menghemat uang, energi dan bahan baku untuk generasi yang akan datang dan Daur ulang aluminium menghemat hingga 95% energy, menghemat 8 kilogram bauksit, 4 kilogram produk kimia dan 14 kW/jam listrik untuk setiap kilogram aluminium yang diekstraksi untuk bahan baku baru.

Pada sisi lain, (Mulyadi, Basa and Halawa, 2015) pada jurnalnya yang berjudul:” Karakterisasi sifat mekanis kaleng minuman (Larutan lasegar, Pocari Sweat, dan Coca cola)” menyatkan dari penelitian tersebut adalah secara umum nilai uji kekerasan dan uji tarik dari masing-masing variasi sampel kaleng minuman berbanding terbalik yaitu pada uji tarik semakin tinggi kandungan aluminium dalam sampel maka nilai kuat tariknya semakin rendah, dan untuk pengujian kekerasan semakin tinggi kandungan aluminium dalam sampel maka kekerasannya semakin tinggi.

(Sarada, Murthy and Ramani, 2016) pada jurnalnya yang berjudul:”Effect of Quenching Media on the Mechanical properties of Al 6061-TiO₂ Metal Matrix Composite”. Hasil dari penelitian tersebut adalah specimen hasil *heat treatment* menunjukkan kekerasan ditingkatkan dibandingkan dengan spesimen pengecoran, kekuatan tarik dari spesimen heat treatment jauh lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang di cor, kecuali untuk pendinginan udara yang menunjukkan penurunan kekuatan tarik dan untuk pendinginan es pada spesimen memiliki kekerasan dan kekuatan tarik maksimum yang lebih dibandingkan dengan media pendinginan lainnya.

(Maisonnette *et al.*, 2011) menyatakan bahwa pada proses *quenching* dan *normalizing* telah meningkatkan kekuatan material dengan pembentukan butiran halus dan presipitat dibandingkan dengan memperlambat pendinginan oleh *annealing*.

(Imam, Rahman and Khan, 2015), menunjukkan bahwa aluminium alloy yang mendapat perlakuan panas, telah meningkatkan umur patah atau patah lelah, serta meningkatkan juga kekuatan Tarik dan kekerasan.

(Aipon, 2014) pada skripsinya yang berjudul:” Perbandingan sifat mekanik material hasil coran gabungan aluminium bekas *velg* sepeda motor dan alat masak yang diperlakukan panas dan tanpa perlakuan panas”. Aipon menyimpulkan dengan dilakukannya proses perlakuan panas secara *annealing* didapatkan persentase penurunan dan peningkatan pada data pengujian Aipon.

(Nukman and Irawan, 2019) yang membandingkan sifat mekanik dari pengecoran berulang dari kaleng minuman bekas dari perusahaan coca-cola. Pengecoran awal menunjukkan adanya porositas. Pengecoran I dilakukan di industri pengecoran rakyat di daerah Sekojo Palembang, dimana peleburan dilakukan dengan cara pemanasan peleburan langsung. Banyaknya impurities dari hasil peleburan menjadikan hasil coran terdapat banyak porositas. Namun dari hasil uji sifat mekanik memberikan data yang lebih baik dibandingkan dengan pengecoran tahap II. Peleburan tahap II walaupun menunjukkan berkurangnya porositas namun menurunkan nilai uji sifat mekanik. Dari hasil pengecoran tersebut dilakukan pengujian komposisi kimia yang ternyata aluminium yang dihasilkan termasuk ke dalam aluminium paduan silikon atau Al-Si. Pada pengamatan makro terjadi penurunan tingkat porositas akibat pengecoran ulang, sementara hampir semua spesimen pengujian memiliki Al dan Si yang terkandung dalam struktur mikro material.

BAB 3

PELUMAS BEKAS SEBAGAI BAHAN BAKAR

Beberapa peneliti menyatakan bahwa pelumas bekas dapat digunakan dan dimanfaatkan untuk beberapa kegiatan pembakaran langsung dan pembakaran pada motor bakar. Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mendaur ulang pelumas bekas antara lain:

Dengan solvent extraction process, (Durrani, Panhwar and Kazi, 2011), mengolah pelumas bekas menjadi pelumas bekas yang layak pakai. Dengan cara proses ini sejumlah kotoran yang dikandung dalam pelumas bekas telah dikurangi secara signifikan.

(Prasaji, U and Santosa, 2013), menggunakan *fly ash* batubara dalam pengolahan pelumas bekas, fungsi daripada *fly ash* batubara adalah sebagai adsorpsi fisis untuk menghilangkan kontaminan ataupun kotoran dari pelumas bekas telah dapat terjadi. Sehingga telah didapat pelumas bekas yang bebas kotoran dan kontaminan lainnya.

Sedangkan (Manasomboonphan and Junyapoon, 2012) telah memproduksi minyak bakar cair dari olahan pelumas bekas dengan cara pirolisa. Metode proses pirolisa ini adalah teknik yang ramah lingkungan dan produk minyak ataupun gas yang dihasilkan dari proses ini mempunyai nilai kalori yang tinggi.

Dipersyaratkan dalam pemanfaatan pelumas bekas sebagai bahan bakar dalam industri pengecoran daur ulang aluminium adalah pembiayaan dan pengoperasionalnya seminimal dan sesederhana mungkin. Karena, bila teknologi proses yang rumit akan membutuhkan biaya dan waktu yang besar, yang akan menambah beban kerja dan beban ekonomi.

Akibat penguapan air dalam pelumas bekas dan penguapan sistem pembakaran, maka pelumas bekas akan mengandung sejumlah kadar air. Adanya air akan menghambat penyalaan pelumas bekas. Untuk itu, kadar air dikurangi sebanyak mungkin dengan cara mengendapkan pelumas bekas dalam beberapa waktu. Pengendapan secara fisis ini memberikan dua manfaat, yaitu memisahkan air berdasarkan beda berat jenis dan mengendapkan kotoran pada bagian bawah cairan pelumas bekas.

Selain daripada itu adalah kemudahan bagi burner untuk dapat mengatomisasi pelumas bekas tanpa mengalami kebuntuan pada ujung nozel burner. Adanya kotoran-kotoran akibat pergesekan material antar elemen mesin dan adanya sisipan karbon dari pembakaran bahanbakar bensin ataupun motor diesel berbahanbakar solar sangat perlu difiltrasi.

Akibat penguapan air dalam pelumas bekas dan penguapan sistem pembakaran, maka pelumas bekas akan mengandung sejumlah kadar air. Adanya air akan menghambat penyalaan pelumas bekas. Untuk itu, kadar air dikurangi sebanyak mungkin dengan cara mengendapkan pelumas bekas dalam beberapa waktu. Pengendapan secara fisis ini memberikan dua manfaat, yaitu memisahkan air berdasarkan beda berat jenis dan mengendapkan kotoran ataupun kontaminasi pada bagian bawah cairan pelumas bekas. Pengendapan dapat dilakukan dalam suatu tanki sederhana yang terbuat dari drum.

Dalam hal pencampuran dua atau lebih bahanbakar, telah diteliti bahwa, kenaikan nilai kalori bahan bakar campuran akan mengikuti nilai kalori yang lebih besar (Nukman; Sipahutar, Riman; Arief, 2015), sehingga ditambahkan minyak kerosen pada pelumas bekas hasil filtrasi ini. Mengingat pelumas bekas sulit untuk dinyalakan, maka perlu adanya penambahan minyak kerosen ini. Namun mengingat harga minyak kerosen yang relatif mahal, maka penambahan dibatasi dan disesuaikan dengan besaran temperatur ideal untuk pencairan aluminium.

BAB 4

SIFAT FISIK PELUMAS BEKAS DAN SISTEM PEMBAKARAN

4.1 Sifat Fisik Pelumas Bekas

Dari penelitian terlihat terjadi penurunan nilai sifat fisik bila kedua jenis pelumas bekas tersebut dicampur dengan Kerosen. Memperhatikan fungsi daripada kerosen sebagai pengencer kekentalan pelumas bekas, maka dapat dilihat bahwa kerosen telah dapat dimanfaatkan untuk mengurangi kekentalan pelumas bekas, baik yang baru (hasil daur ulang) maupun pelumas bekas hasil penyaringan. Pengurangan kekentalan ini dimaksudkan agar pelumas bekas dapat dibuat mudah menjadi kabut. Sehingga dapat dikatakan bahwa pengenceran ini telah berhasil dan pelumas bekas telah dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pencairan/peleburan aluminium. Pelumas bekas dibakar dalam bentuk kabut untuk memudahkan pembakaran.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penyaringan dengan sistem filtrasi ini adalah cara termudah dalam mendapatkan bahan bakar untuk pencairan aluminium bekas. Terjadi penurunan nilai-nilai sifat fisik setelah pelumas bekas hasil filtrasi dicampur dengan kerosen.

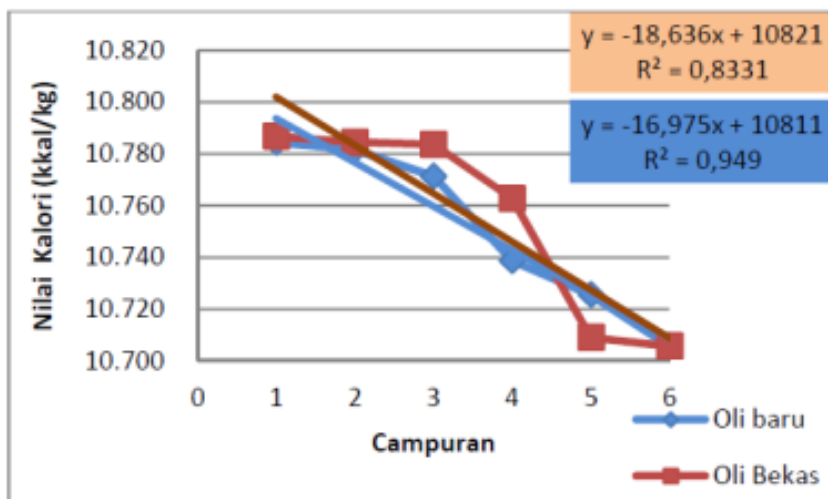
Penelitian sebelumnya menghasilkan (Nukman; Sipahutar, Riman; Arief, 2015):

Pencampuran antara pelumas baru, bekas dan kerosen telah menunjukkan pengaruh perubahannya terhadap nilai kalori. Untuk menghadapi persoalan utama yaitu berupa mengurangi kotoran didalam minyak pelumas bekas maka hal pertama adalah pengendapan yang diperkirakan memerlukan waktu yang cukup lama, dimana dalam pengendapan ini juga berlangsung pengendapan kadar air yang karena sifat berat jenisnya akan berpisah dengan minyak. Selanjutnya pelumas bekas telah disaring dengan matriks 3 (tiga) filter dari 6 (enam) screen berukuran 80, 100, 150, 170, 200 dan 250 Mesh (setara ASTM

specification E-11-70), yang menggunakan alat filtrasi bertingkat dengan memakai screen dengan bahan baja tahan karat. Pengujian sifat fisik pelumas baru, bekas dan kerosen dan campuran ketiganya yang meliputi Pengujian Nilai Kalori ketiga pelumas yaitu pelumas baru, bekas dan kerosen serta campuran ketiganya mengacu kepada ASTM D4809. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Kalori (kkal/kg) (Nukman; Sipahutar, Riman; Arief, 2015)

Oli baru	10,784.38	Oli Bekas	10,786.72
B90	10,781.60	X90	10,784.50
B80	10,771.33	X80	10,783.67
B70	10,738.66	X70	10,762.68
B60	10,725.51	X60	10,709.03
Minyak Tanah	10,705.74		



Gambar 2. Hubungan Nilai Kalori dan Campuran (Nukman; Sipahutar, Riman; Arief, 2015)

Dari tabel 1 dan gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai kalori lebih kecil dari nilai kalori pelumas, baik pelumas yang baru maupun pelumas bekas hasil saringan. Hal ini berbeda dari beberapa sumber yang menyampaikan bahwa nilai kalori kerosene lebih rendah dari pelumas. Dari gambar terlihat hasil pencampuran antara pelumas dengan kerosen telah membentuk satu garis linier, sehingga dari sini terlihat bahwa penambahan kerosen telah menurunkan nilai kalori. Dari beberapa kajian, telah diidentifikasi bahwa kekentalan pelumas lebih besar dibanding dengan kerosen. Dalam hal ini kerosen dapat dianggap sebagai media pengencer. Sehingga dengan demikian pencampuran kerosen telah menurunkan tingkat kekentalan pelumas dan memudahkan fluida campuran untuk lebih mudah mengalir (Nukman, Andi Kurniawan Lako, *et al.*, 2016).

Lebih lanjut (Nukman, Sipahutar, *et al.*, 2018), menyampaikan bahwa, uji untuk melihat sifat fisik pelumas baru, minyak tanah, dan campuran pelumas yang digunakan dan minyak tanah (campuran bahan bakar) dilakukan dilakukan dengan memakai standar:

- a. Viscosity by ASTM D2501 - 11
- b. Flash point by ASTM D93 IP 34
- c. Density by ASTM D1298
- d. Calorie value based on ASTM D4809
- e. Cetane Number by ASTM D976

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa pelumas baru memiliki nilai pengukuran yang lebih besar daripada pelumas bekas, kecuali untuk nilai kerapatan yang tampaknya kira-kira sama untuk yang dicampur atau tidak dicampur. N90 adalah pelumas baru (pelumas yang dijual di pasaran dalam drum dan dinyatakan sebagai pelumas daur ulang) dengan kandungan minyak tanah 10%, sedangkan X90 adalah pelumas bekas yang disaring dengan kandungan minyak tanah 10%. Melihat bahwa minyak tanah berfungsi sebagai pengencer pelumas, minyak tanah dapat digunakan untuk mengurangi viskositas pelumas baru, daur ulang, atau bekas. Pengurangan viskositas dimaksudkan agar pelumas dapat dengan mudah diubah menjadi kabut atau dikabutkan. Dapat

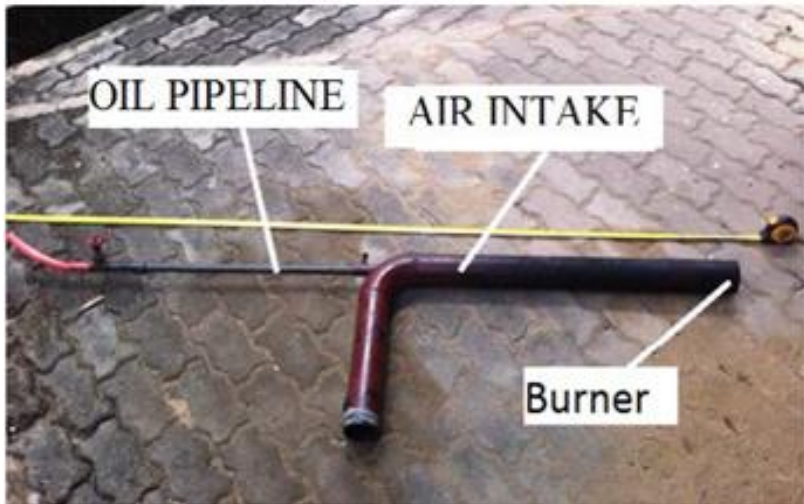
dikatakan bahwa pengenceran tersebut telah sukses dan pelumas dapat terus digunakan sebagai bahan bakar.

Tabel 2. Sifat Fisik Pelumas baru, Bekas dan Campuran dengan Kerosene

	Viscosity (mm ² /s)	Density (g/cm ³)	Cetane number	Flash point (°C)	Calorific value (kcal/kg)
New Lubricating Oil (N)	131.73	0.84	59.8	305	10,788
N90	68.57	0.84	59.2	238	10,782
N80	41.14	0.84	58.2	191	10,771
N70	24.22	0.84	55.5	102	10,739
N60	15.02	0.85	53.2	85	10,726
Waste Lubricating Oil (X)	60.06	0.82	57.8	191	10,787
X90	33.33	0.82	57.5	146	10,784
X80	21.32	0.83	55.5	128	10,784
X70	15.52	0.85	53.4	94	10,763
X60	10.81	0.85	52.2	86	10,709
Kerosene	1.86	0.84	39.1	42	10,706

4.2 Sistem Pembakaran

Sistem pemipaan untuk aliran bahan bakar dan udara suplai blower telah dibuat (lihat gambar 3 dan 4). Sistem pemipaan untuk aliran bahan bakar dilengkapi dengan blower dan dua pipa utama yaitu pipa udara dan pipa suplai bahan bakar. Dimana pada kedua ujung akhir kedua pipa, minyak dan udara akan bercampur. Dimensi pipa utama berdiameter luar 2 inci dan pipa udara yang berada di dalamnya.



Gambar 3. Sistem Pemipaan



Gambar 4. Instalasi Lengkap Tungku Sederhana

Pengeluaran udara diatur dengan mengatur suplai udara pada blower dan terbuka 100% maka, temperatur pengapian (gambar 5), terukur temperatur maksimum yang dapat dicapai adalah 922 °C (tabel 3). Akibatnya adalah banyaknya suplai yang terbakar. Sedangkan peleburan aluminum hanya membutuhkan temperatur 740 °C, maka bukaan pengatur udara dapat diatur hanya 50%. Pengaturan dilakukan dengan bukaan katup (*stop valve*) bahan bakar minyak dibuka sepenuhnya. Penyalaan awal dilakukan dengan cara membuat umpan api dari ranting kayu, dimana setelah api menyala secara perlahan suplai udara dan minyak secara diatur perlahan.

Tabel 3. Temperatur Terukur Campuran 90% Pelumas Bekas dan 10% Kerosene (Nukman, Sipahutar, *et al.*, 2018).

No	Air Aperture (%)	Temperature (°C)
1	0	445
2	25	670
3	50	834
4	75	895
5	100	922



Gambar 5. Pengukuran dengan Infra-red Gun

Dari hasil pengujian nilai kalori bahan bakar dapat diketahui bahwa nilai kalori dari pelumas bekas lebih besar dari pada nilai kalori arang kayu dan bahan bakar lainnya. Maka dengan berat yang sama, dapat mengakibatkan pemanasan bahan coran pada tungku krusibel agak lebih lama dibanding pada tungku api. Untuk meningkatkan temperatur pembakaran pada arang kayu, kokas ataupun batubara sub bituminus, perlu dibantu dengan blower. Akan tetapi penggunaan blower untuk meniup tungku krusibel dapat mengakibatkan bahan bakar padatan cepat habis (boros) dan kontrol api menjadi lebih sulit.

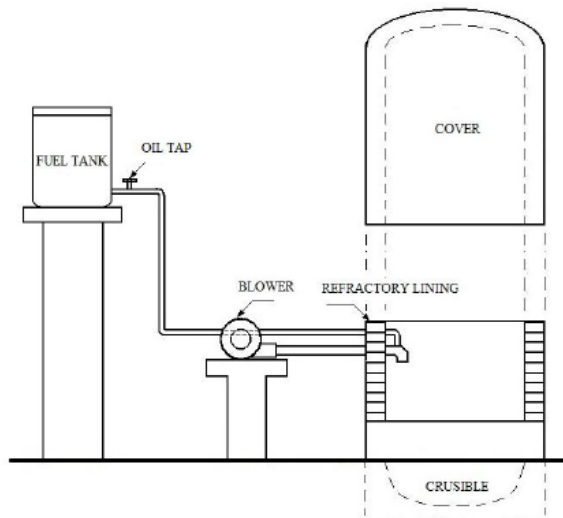
Pada tungku api pengaruh bahan bakar tidak terlalu signifikan. Baik pelumas bekas maupun bahan bakar lainnya terdiri dari unsur hidrokarbon yang mana penyusun utamanya adalah CHONS (Carbon, Hydrogen, Oxygen, Nitrogen, Sulfur). Karena pelumas yang terbakar dalam keadaan pengkabutan (*spray*), sehingga dapat diasumsikan bahwa pembakaran bahan bakar pelumas bekas relatif sempurna.

BAB 5

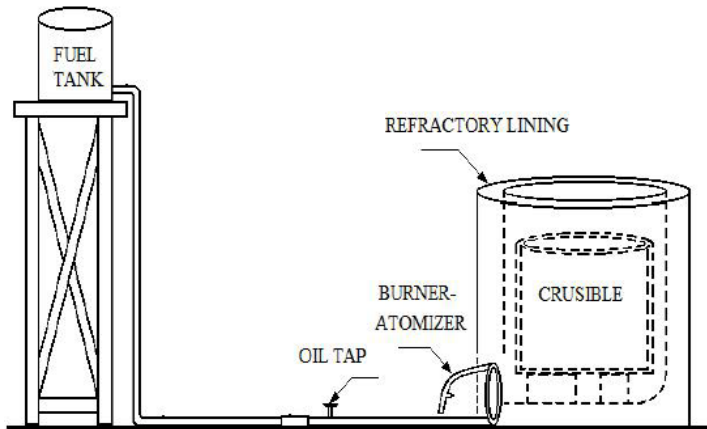
SISTEM PELEBURAN DAN UJI KOMPOSISI SERTA SIFAT MEKANIK HASIL PELEBURAN

5.1. Sistem Peleburan

Dari hasil perancangan yang didapat, bentuk sistem peleburan yang dipakai adalah seperti gambar 6 dan gambar 7. Gambar 6 adalah tungku api (Fire furnace – Pembakaran Langsung - PL) dan gambar 7 adalah tungku krusibel (indirect furnace – Pembakaran Tidak Langsung - PTL), dimana api pembakaran ditujukan langsung kepada material aluminium yang akan dilebur. Sedangkan gambar 8 adalah contoh tungku api dan gambar 9 adalah contoh tungku krusibel (Pembakaran Tidak Langsung – PTL) atau Indirect Furnace (IF).



*Gambar 6. Tungku Api (Fire Furnace)
(Pembakaran Langsung-PL) atau Direct Furnace (DF)*



Gambar 7. Tungku Krusibel (Pembakaran Tidak Langsung-PTL) atau Indirect Furnace (IF)





Gambar 8. Contoh Tungku Api Pembakaran Langsung

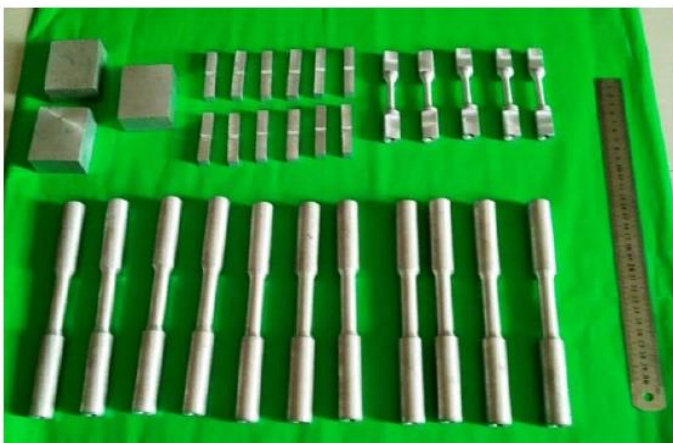


***Gambar 9: Contoh Tungku Krusibel
(Pembakaran Tidak Langsung – PTL)***

Hasil penelitian yang dilakukan telah dapat melebur aluminium kaleng minuman bekas dari kedua type tungku tersebut. Telah dibuat sejumlah batangan aluminium hasil pengecoran seperti terlihat pada gambar 10. Gambar 11 adalah sejumlah sampel yang telah dibuat dari hasil pemesinan dari batangan aluminium tersebut.



Gambar 10. Batangan Aluminium Hasil Coran



Gambar 11. Sampel Uji

5.2. Uji Komposisi Kimia

Uji komposisi kimia dilakukan terhadap dua jenis material aluminium, yaitu hasil leburan kaleng minuman (sampel CAN) dan hasil leburan gabungan Aluminium paduan dan Aluminium batangan (90%+10%) (yang disebut kemudian sebagai Aluminium Alloy – AA).

Tujuan daripada pengujian komposisi kimia ini adalah untuk mengetahui persentase berat unsur-unsur logam yang terkandung pada masing-masing hasil peleburan dapur pengecoran. Pengujian komposisi kimia dilakukan di PT. Pusri, dimana alat yang digunakan adalah Thermo Scientific Niton XL2 Series XRF Analyzer. Tabel 4 adalah hasil pemeriksaan komposisi kimia pada masing-masing dapur dari masing-masing jenis Aluminium.

Tabel 4: Hasil Uji Komposisi CANS			
No	Unsur	Pembakaran Langsung - PL (%)	Pembakaran Tidak Langsung - PTL (%)
1.	Aluminium (Al)	98,06	97,78
2.	Krom (Cr)	0,05	0,00
3.	Mangan (Mn)	0,65	0,74
4.	Besi (Fe)	0,88	1,26
5.	Tembaga (Cu)	0,26	0,16
6.	Seng (Zn)	0,08	0,05
7.	Timbal (Pb)	0,01	0,01
Hasil Uji Komposisi Aluminium Alloy			
No	Unsur	Pembakaran Langsung - PL (%)	Pembakaran Tidak Langsung - PTL (%)
1.	Aluminium (Al)	98,14	97,86
2.	Krom (Cr)	0,03	0,02
3.	Mangan (Mn)	0,59	0,81
4.	Besi (Fe)	0,81	1,04
5.	Tembaga (Cu)	0,31	0,17
6.	Seng (Zn)	0,08	0,04
7.	Timbal (Pb)	0,04	0,06

Dari tabel 4 dapat dilihat, bahwa kaleng minuman yang sejatinya adalah bahan A3004, adalah aluminium jenis yang tidak dapat diberi perlakuan panas karena mengandung persentase mangan yang besar. Namun ternyata setelah peleburan, unsur mangan tidak mencapai seperti yang ditetapkan yaitu 1 sd. 1,5 % (3004 Al Mn1Mg1) (Rooy Elwin L., 1995), dengan demikian material hasil peleburan ini tidak termasuk dalam kategori 3004 yang merupakan aluminium tuang, dengan konsekwensi material ini dapat diberi perlakuan panas karena persentase mangan dibawah 1% dan keduanya tidak mengandung Magnesium. Begitu juga halnya dengan material Aluminium Alloy, yang menjadi material aluminium yang dapat diberi perlakuan panas, karena unsur mangan kurang daripada 1%.

5.3 Sifat Uji Mekanik

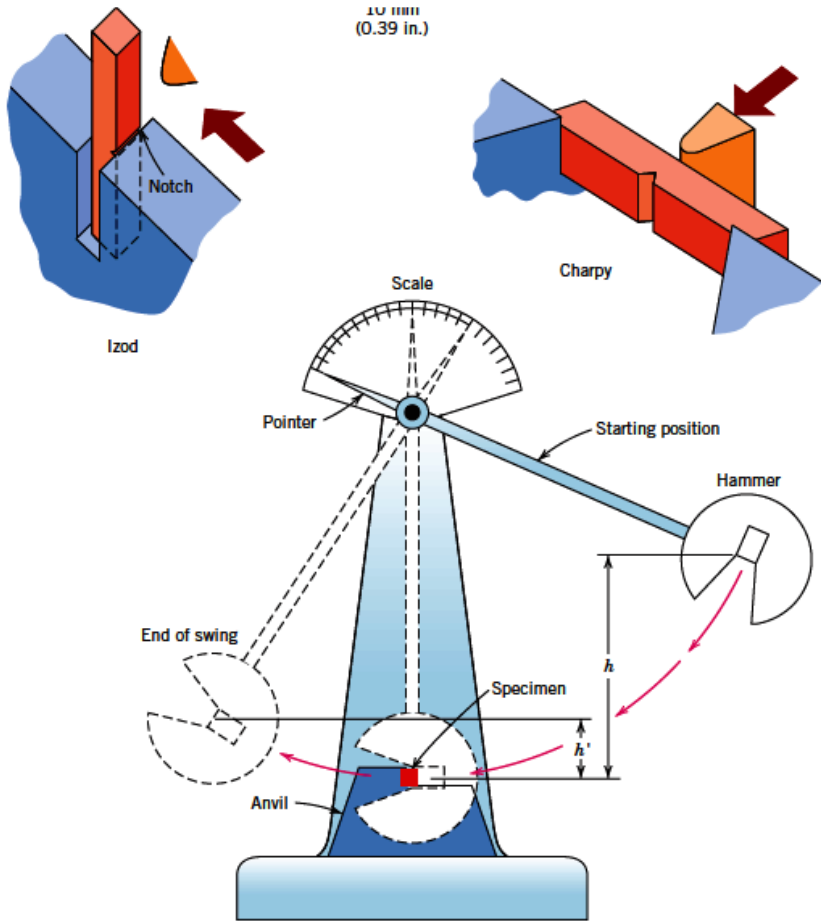
5.3.1 Uji Impak

Suatu material ulet dapat patah getas yang disebabkan oleh beberapa hal, yaitu:

- a. Adanya takikan
- b. Kecepatan pembebanan yang tinggi menyebabkan regangan yang tinggi
- c. Temperatur yang sangat rendah

Ketiga kondisi ini didekati dengan melakukan pengujian impak, dimana takikan sengaja dibuat pada sampel uji, pembebanan ditimbulkan oleh pendulum (hammer), dan variasi temperatur diberikan dengan menggunakan media es atau nitrogen cair.

Energy impak adalah energy potensial dari pendulum yang mengenai benda pada temperatur tertentu dan dihitung dalam satuan Joule. Dari hubungan dengan temperatur didapat diagram yang menggambarkan sifat material terhadap beban tiba-tiba pada temperatur tertentu. Sehingga akan didapat temperatur transisi, dimana material akan berubah dari bersifat ulet menjadi getas. Ada dua macam metode pengujian Impak, yaitu cara Izod dan Charpy (lihat gambar 12)



Gambar 12: Metode Pengujian Impak (William D. Callister and Rethwisch, 2009)

Standard pengujian Impak yang digunakan dalam hal ini adalah JIS Z 2242 dan standard untuk sampel uji adalah JIS Z 2202. Untuk pengujian dengan metode Charpy maka mesin uji Impak menurut standard JIS B 7722. Charpy Impact Testing Machine type CI-30 buatan Tokyo Testing Machine. MFG. CO. LTD Tahun 1992 terlihat pada gambar 13. Sedangkan bila metode pengujian adalah Izod maka mesin uji digunakan menurut standar JIS B 7723.



Gambar 13: Mesin Uji Impak Charpy

Dasar pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Sehingga energi untuk mematahkan specimen berdasarkan sudut yang dibentuk oleh pendulum (lihat gambar 14) (sampel uji Impak terlihat pada gambar 15) (dari benda uji gambar 16) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$E1 = P (D-D \cos a)$$

$$E2 = P (D-D \cos \phi)$$

$$E = E1 - E2$$

$$E = P D (\cos \phi - \cos a)$$

Dimana:

E1 = Energi potensial yang ditahan pada sudut angkat a dari palu.

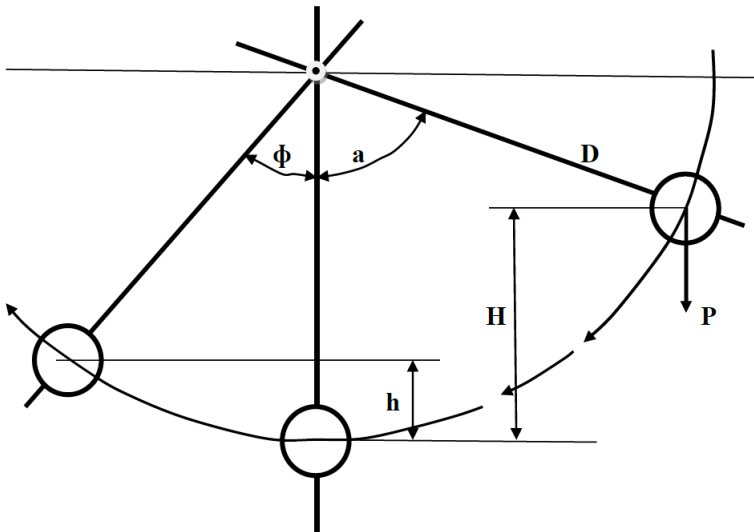
E2 = Posisi energi yang ditahan pada sudut ayun ϕ dari palu.

P = Berat palu

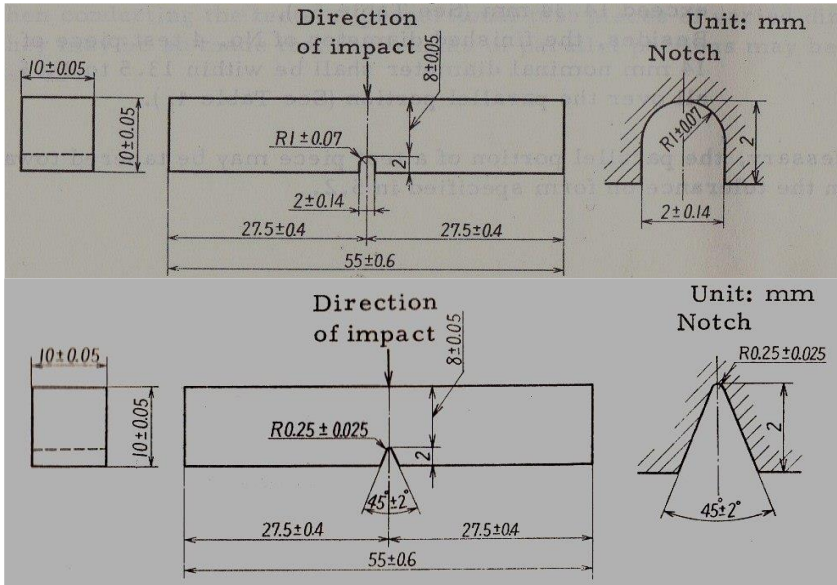
D = Jarak dari pusat sumbu palu ke pusat gravitasi (m)

a = sudut angkat palu

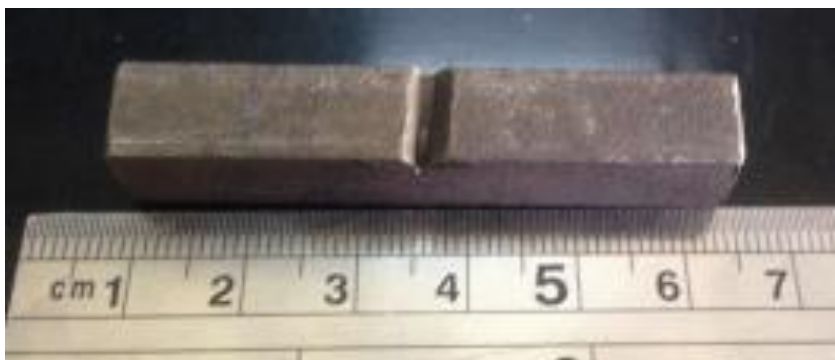
ϕ = sudut ayun setelah palu mengenai specimen.



Gambar 14: Prinsip Uji Impak dengan Pendulum



Gambar 15: Sampel Uji Impak Charpy (JIS, 1983)



Gambar 16: Sampel Uji Impak

Uji Impak untuk sampel Kaleng Minuman (CAN) dan Aluminium Alloy (AA)

Jumlah sampel keseluruhan 100 buah, dengan perincian; 50 CAN masing-masing 25 sampel di heat treatment (HT) dan 25 Non

heat treatment (NHT), 50 AA masing-masing 25 sampel di heat treatment dan 25 sampel Non Heat Treatment (NHT). Perlakuan panas (Heat treatment yang diberikan kepada sampel berupa anealing (anil).

Annealing didefinisikan sebagai operasi pemanasan diatas temperatur tertentu dipanaskan dalam temperatur merata dengan diikuti pendinginan yang telah ditentukan secara perlahan-lahan. Untuk mencapai pengembalian sifat yang diinginkan seperti melunakkan material logam, menghilangkan tegangan dalam atau sisa, memperbaiki butir-butir logam.

Proses perlakuan panas *annealing* dilakukan dengan menggunakan tungku listrik di laboratorium Material Teknik. Sampel dipanaskan mencapai temperatur 350°C dan ditahan selama 1 jam. Kemudian didinginkan dengan cara didiamkan di dalam tungku. Hasil pengukuran sifat mekanis dari hasil penggunaan pengecoran memakai tungku api atau peleburan secara langsung untuk material yang mendapat perlakuan panas dan tidak mendapat perlakuan panas masing-masing untuk sampel CANS dan AA terdapat pada tabel 5 dan 6.

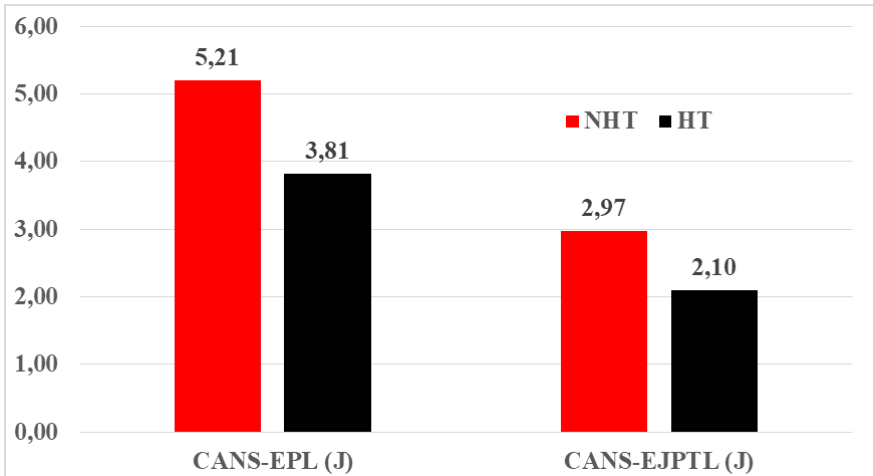
Tabel 5: Hasil Uji Impak CANS

		Pembakaran Tidak Langsung - PTL			Pembakaran Langsung - PL		
No	Perlakuan	E ₁ (Joule)	E ₂ (Joule)	E = E1- E2 (Joule)	E ₁ (Joule)	E ₂ (Joule)	E = E1- E2 (Joule)
1.	Tanpa Perlakuan Panas (non heat treatment-NHT)	163,50	160,67	2,83	163,50	160,65	2,85
2.			160,67	2,83		159,23	4,27
3.			160,67	2,83		159,23	4,27
4.			160,67	2,83		157,79	5,71
5.			160,15	3,35		157,79	5,71
6.			160,4	3,10		157,79	5,71
7.			160,64	2,86		158,10	5,40
8.			160,54	2,96		158,40	5,10
9.			160,54	2,96		158,00	5,50
10.			160,56	2,94		157,90	5,60
11.			160,61	2,89		157,64	5,86
12.			160,66	2,84		157,78	5,72
13.			159,9	3,60		157,78	5,72
14.			160,34	3,16		157,98	5,52
15.			160,44	3,06		160,12	3,38
16.			160,44	3,06		159,44	4,06
17.			160,44	3,06		159,46	4,04
18.			160,28	3,22		157,99	5,51
19.			160,68	2,82		157,90	5,60
20.			160,76	2,74		157,88	5,62
21.			160,66	2,84		157,44	6,06
22.			160,6	2,90		157,66	5,84
23.			160,58	2,92		157,88	5,62
24.			160,66	2,84		157,77	5,73
25.			160,58	2,92		157,68	5,82
Rerata				2,97			5,21
1.	Dengan Perlakuan Panas (heat treatment-HT)	163,50	161,27	2,23	163,50	160,20	3,30
2.			161,47	2,03		160,23	3,27
3.			161,33	2,17		159,98	3,52
4.			161,48	2,02		159,90	3,60
5.			161,25	2,25		158,82	4,68
6.			161,12	2,38		159,22	4,28
7.			161,4	2,10		160,22	3,28
8.			161,6	1,90		160,12	3,38
9.			161	2,50		159,98	3,52
10.			161,22	2,28		159,40	4,10
11.			161,45	2,05		159,78	3,72
12.			161,22	2,28		158,98	4,52
13.			161,4	2,10		159,77	3,73
14.			161,26	2,24		159,46	4,04
15.			161,87	1,63		159,82	3,68
16.			161,59	1,91		159,24	4,26
17.			161,41	2,09		159,33	4,17
18.			161,44	2,06		159,12	4,38
19.			161,81	1,69		159,43	4,07
20.			161,11	2,39		159,22	4,28
21.			161,22	2,28		159,49	4,01
22.			161,73	1,77		160,78	2,72
23.			161,56	1,94		160,17	3,33
24.			161,77	1,73		160,00	3,50
25.			161,06	2,44		159,44	4,06
Rerata				2,10			3,82

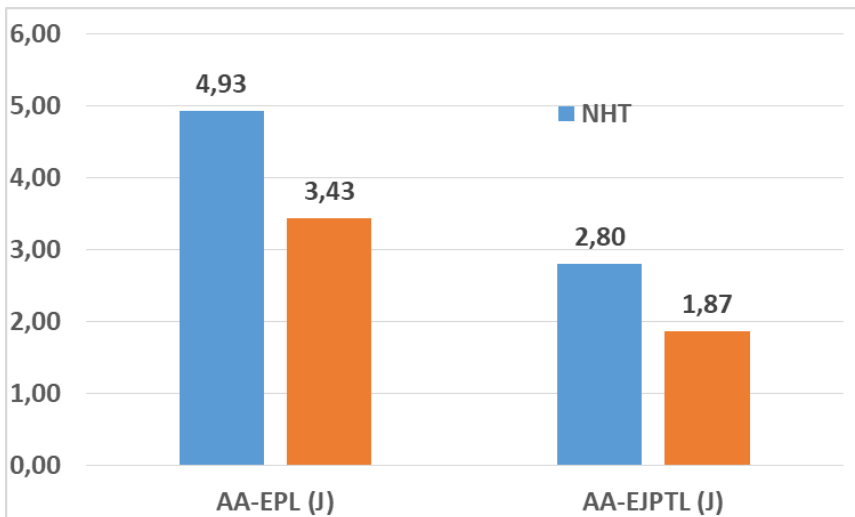
Tabel 6: Hasil Uji Impak ALUMINIUM ALLOY (AA)

		Pembakaran Tidak Langsung - PTL			Pembakaran Langsung - PL		
No	Perlakuan	E ₁ (Joule)	E ₂ (Joule)	E = E1- E2 (Joule)	E ₁ (Joule)	E ₂ (Joule)	E = E1- E2 (Joule)
1.	Tanpa Perlakuan Panas (non heat treatment-NHT)	163,50	160,8	2,70	163,50	160,44	3,06
2.			160,78	2,72		160,29	3,21
3.			160,71	2,79		159,44	4,06
4.			160,08	3,42		158,10	5,40
5.			160,86	2,64		157,81	5,69
6.			160,48	3,02		157,94	5,56
7.			160,6	2,90		159,41	4,09
8.			160,78	2,72		159,14	4,36
9.			160,58	2,92		159,04	4,46
10.			160,67	2,83		158,91	4,59
11.			160,82	2,68		158,72	4,78
12.			160,48	3,02		157,98	5,52
13.			160,8	2,70		157,88	5,62
14.			160,84	2,66		158,28	5,22
15.			160,39	3,11		158,42	5,08
16.			160,87	2,63		159,79	3,71
17.			160,66	2,84		160,08	3,42
18.			160,84	2,66		158,24	5,26
19.			160,7	2,80		157,88	5,62
20.			160,7	2,80		157,92	5,58
21.			160,69	2,81		157,64	5,86
22.			160,68	2,82		158,88	4,62
23.			160,87	2,63		156,90	6,60
24.			160,9	2,60		157,44	6,06
25.			160,88	2,62		157,71	5,79
Rerata			2,80				4,93
1.	Dengan Perlakuan Panas (heat treatment-HT)	163,50	161,42	2,08	163,50	160,43	3,07
2.			161,66	1,84		160,74	2,76
3.			161,92	1,58		159,22	4,28
4.			161,54	1,96		159,10	4,40
5.			161,52	1,98		159,20	4,30
6.			161,38	2,12		159,44	4,06
7.			161,76	1,74		160,00	3,50
8.			161,87	1,63		159,90	3,60
9.			161,9	1,60		159,90	3,60
10.			161,31	2,19		159,24	4,26
11.			161,56	1,94		158,88	4,62
12.			161,31	2,19		168,28	-4,78
13.			161,87	1,63		160,90	2,60
14.			161,72	1,78		159,72	3,78
15.			161,9	1,60		159,42	4,08
16.			161,42	2,08		159,14	4,36
17.			161,87	1,63		159,78	3,72
18.			161,51	1,99		159,67	3,83
19.			161,9	1,60		159,44	4,06
20.			161,8	1,70		159,33	4,17
21.			161,89	1,61		159,65	3,85
22.			161,97	1,53		159,12	4,38
23.			161,12	2,38		160,46	3,04
24.			161,43	2,07		160,90	2,60
25.			161,26	2,24		159,82	3,68
Rerata			1,87				3,43

Hasil perhitungan untuk Uji Impak CANS dapat dibuat dalam bentuk grafik seperti terlihat pada gambar 17, dan untuk sampel AA seperti gambar 18.



Gambar 17: Uji Impak CANS



Gambar 18: Uji Impak Aluminium Alloy

Dari gambar 17 dan 18 terlihat bahwa, baik untuk material Kaleng Minuman CANS maupun Aluminium Alloy, nilai uji impak dari material yang di lebur dengan bahanbakar pelumas bekas secara langsung, nilainya lebih besar dibanding dengan yang dibakar secara tidak langsung. Diperkirakan sejumlah unsur residu dari pembakaran bahanbakar bereaksi dengan material aluminium, unsur lain itu misalnya unsur Fe. Juga pembakaran yang lebih lama terhadap aluminium secara langsung telah memberikan pengaruh yang lebih baik, karena secara langsung memperpanjang atau waktu pemanasan yang lebih lama. Disamping itu, pemanasan langsung telah dapat membakar sejumlah impuritis atau kotoran. Perlakuan panas yang diberikan telah menurunkan nilai impak, hal ini karena perlakuan panas anil telah mengecilkan dimensi butir dan menjadikannya lebih teratur.

5.3.2 Uji Tarik

Pengujian Tarik dilakukan atas sampel uji (spesimen) yang dibentuk menjadi batang uji. Metode pengambilan sampel, bentuk dan ukuran batang uji untuk berbagai bahan yang telah distandarkan misalnya: menurut ASTM, DIN, JIS, BS, ISO, dan seterusnya.

Pengecilan penampang setempat pada daerah panjang uji (gauge length) dimaksudkan agar perubahan bentuk atau deformasi hanya terjadi pada daerah tersebut. Pada pengujian Tarik, kecepatan crosshead tetap selama pengujian. Besar beban Tarik yang diperlukan serta perubahan panjang yang terjadi direkam oleh alat pencatat dalam bentuk diagram Tarik Antara beban (P) dan pertambahan panjang (elongasi).

Dalam diagram Tarik tersebut dapat dibedakan antara daerah elastis dan daerah plastis. Demikian pula antara daerah regangan seragam dan regangan tidak seragam. Setelah beban Tarik mencapai harga maksimum. Maka pada batang uji akan terjadi pengecilan penampang setempat, sehingga beban Tarik mengecil pula, dan akhirnya batang uji patah.

Dari diagram Tarik vs Pertambahan Panjang, dapat dihitung:

Tegangan Tarik: $\sigma = \frac{P}{A} \text{ (MPa)}$

Kekuatan Tarik: $\sigma_u = \frac{F_{Max}}{A_o} \text{ (MPa)}$

Batas luluh : $\sigma_y = \frac{F_y}{A_o} \text{ (MPa)}$

Keuletan: $\sigma = \frac{\Delta l_{patah}}{l_o}$

Dimana:

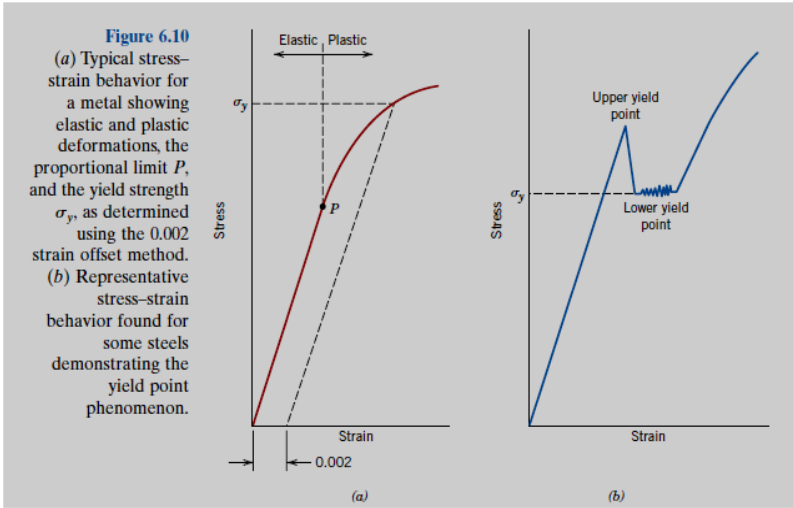
$A_o = \text{luas penampang mula - mula}$

$l_o = \text{panjang batang uji mula - mula}$

Pada umumnya logam dan paduan (selain baja lunak, titanium, dan molibdenum) tidak menunjukkan batas leleh yang jelas. Maka untuk mengetahui batas luluh dipakai metode off-set, misalnya dengan notasi $\sigma_{0,2}$ yaitu tegangan yang menyebabkan terjadinya deformasi plastis sebesar 0,2%. (Lihat gambar 19)

Pada penggunaan dalam suatu konstruksi, tegangan yang bekerja pada suatu komponen harus lebih kecil dari tegangan luluh. Hal ini berarti deformasi yang terjadi hanyalah deformasi plastis.

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin *Torse Universal Testing Machine Type RAT-30P* buatan Tokyo Testing Machine MFG. CO., LTD tahun 1992. Dengan standard mesin pengujian memakai JIS B 7721. (Lihat gambar 20).

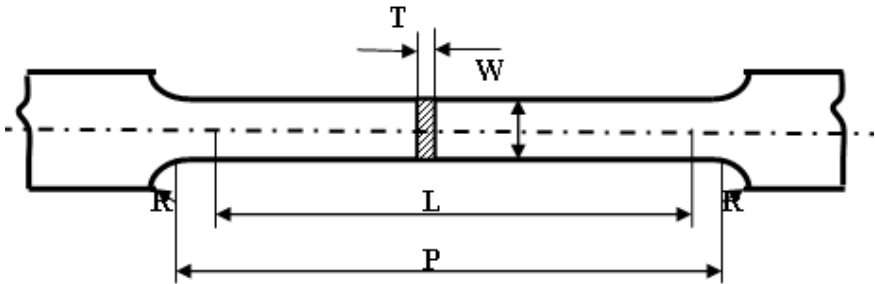


Gambar 19: Daerah Elastis dan Plastis Serta Fenomena Yield Point (William D. Callister and Rethwisch, 2009)



Gambar 20: Mesin Uji Tarik Hydraulic Universal Material Tester.

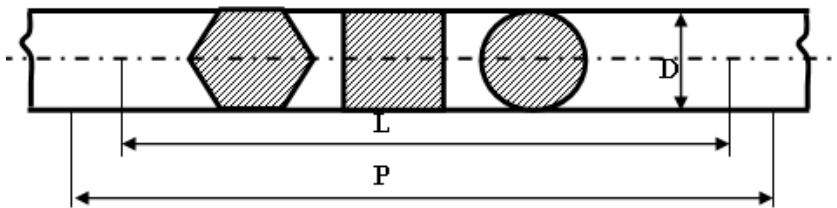
Sedangkan sampel ujinya mengacu kepada JIS Z 2201. Adapun bentuk sampel uji dapat berupa plat, batangan, maupun bentuk khusus, terlihat pada gambar 21, 22, 23, 24, dan 25.



Unit: mm

Type of Test Piece	Width W	Gauge Length L	Parallel Length P	Radius of Fillet R	Thickness T
1 A	40	200	Approx. 220	25 min.	Thickness of Material
1 B	25	200	Approx.. 220	25 min.	Thickness of Material

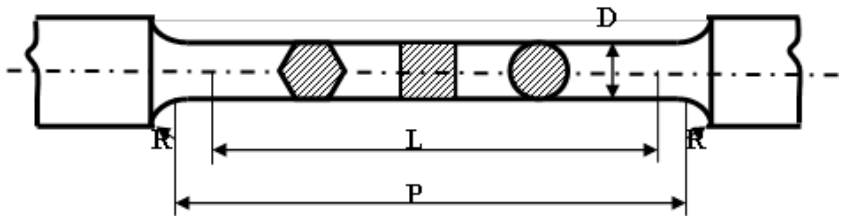
Gambar 21: Sampel Uji bentuk Plat (JIS, 1983)



Dia. or width Across flats D	Gauge Length L	Distance between grips P
Size of material	8 D	Approx. ($L + 2D$)

Gambar 22: Sampel Uji bentuk Polos (batangan) (JIS, 1983)

(Catatan: diameter tidak lebih dari 25 mm)



Unit: mm

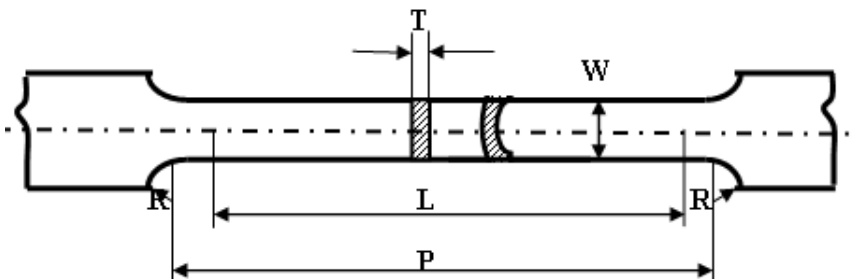
Gauge Length L	Parallel length P	Radius of fillet R
$5,65 \sqrt{A}$	5,5 D to 7 D	R5,65 15 min

A: Cross-sectional area of parallel portion

Remarks:

1. The gauge length may be so determined that $L = 50 D$ for circular cross section of parallel portion, that $L = 5,65D$ for square cross section, and that $L = 5,26D$ for hexagonal cross section.
2. The length of parallel portion should be so determined that $P = 7D$, as far as practicable.
3. The diameter of gripped portions of this piece may be made same as that of the parallel portion. In this case, the distance between grips shall be so determined that $P \geq 8D$.

Gambar 23: Sampel Uji bentuk Umum (JIS, 1983)



Unit: mm

Width W	Gauge Length L	Parallel length P	Radius of fillet R	Thickness T
8 T max	$5,65 \sqrt{A}$	$L + 1,5 \sqrt{A}$ to $L + 2,5 \sqrt{A}$	15 min.	Thickness of material

A: Cross section area of parallel portion.

Remarks:

1. The length of parallel portion should be so determined that $P = L + 2\sqrt{A}$, as far as practicable.
2. In the case of applying this test piece to the tensile test of tubes, the cross section of parallel portion shall be as cut out from the tube.
3. The width of gripped portion of this test piece may be made same as that of parallel portion. In this case, the distance between grips shall be so determined that $P = L + 3\sqrt{A}$.
4. For the use of this type test piece, it is advisable to unify their dimensions according to every reasonable range which covers varied plate thickness.

Gambar 24: Sampel Uji untuk Potongan Pipa atau plat (JIS, 1983)



Gambar 25: Contoh Sampel Uji Tarik Bahan Aluminium

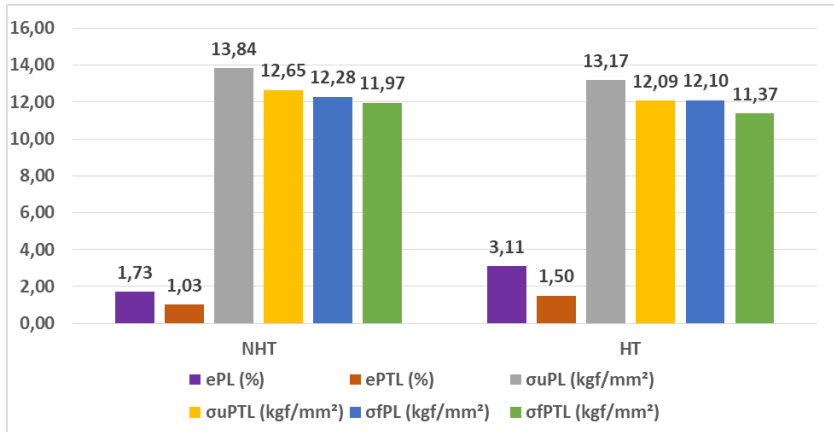
Sama halnya dengan sampel uji Impak, sampel uji tarik sebagian diberi perlakuan panas aniling pada temperatur 350 °C dengan holding time selama 1 jam. Hasil pengukuran Uji tarik berupa elongasi, tegangan tarik ultimat dan tegangan fraktur dapat dilihat pada tabel 7. Dimana luasan penampang sampel adalah 183,6 mm².

Tabel 7: Uji Tarik CANS

Sampel Tungku Pembakaran Langsung (PL)								
No.	Perlakuan	L ₀ (mm)	L _i (mm)	e (%)	Pu (kgf)	σ _u (kgf/mm ²)	Pf (kgf)	σf (kgf/mm ²)
1.	Tanpa Perlakuan Panas Non Heat Treatment (NHT)	50	50,8	1,6	2250	14,62	2010	13,06
2.			50,9	1,8	1400	9,10	1200	7,80
3.			51	2	2300	14,95	1685	10,95
4.			51	2	2220	14,43	1905	12,38
5.			50,8	1,6	2250	14,62	2025	13,16
6.			50,9	1,8	2400	15,60	2010	13,06
7.			50,9	1,8	1850	12,02	1830	11,89
8.			50,8	1,6	2225	14,46	1750	11,37
9.			50,9	1,8	2215	14,40	1950	12,67
10.			50,5	1	2240	14,56	2015	13,10
11.			51	2	2400	15,60	2005	13,03
12.			51	2	1500	9,75	1450	9,42
13.			51	2	2145	13,94	1850	12,02
14.			50,8	1,6	2220	14,43	1950	12,67
15.			50,9	1,8	2190	14,23	1685	10,95
16.			50,6	1,2	2280	14,82	1905	12,38
17.			50,8	1,6	2220	14,43	2025	13,16
18.			50,8	1,6	2250	14,62	2010	13,06
19.			50,9	1,8	2400	15,60	1990	12,93
20.			51	2	1850	12,02	1800	11,70
21.			51	2	1900	12,35	1890	12,28
22.			50,7	1,4	1950	12,67	1945	12,64
23.			50,7	1,4	2100	13,65	1990	12,93
24.			50,9	1,8	2120	13,78	2100	13,65
25.			51	2	2350	15,27	2250	14,62
Rerata				1,73		13,84		12,28
Sampel Tungku Pembakaran Tidak Langsung (PTL)								
No.	Perlakuan	L ₀ (mm)	L _i (mm)	e (%)	Pu (kgf)	σ _u (kgf/mm ²)	Pf (kgf)	σf (kgf/mm ²)
1.	Tanpa Perlakuan Panas Non Heat Treatment (NHT)	50	50,4	0,8	2045	13,29	2000	13,00
2.			50,4	0,8	2740	17,81	2700	17,55
3.			50,5	1	2765	17,97	2700	17,55
4.			50,6	1,2	2070	13,45	2000	13,00
5.			50,7	1,4	2080	13,52	1950	12,67
6.			50,4	0,8	1490	9,68	1480	9,62
7.			50,5	1	1800	11,70	1790	11,63
8.			50,4	0,8	1870	12,15	1820	11,83
9.			50,5	1	1705	11,08	1695	11,02
10.			50,5	1	1310	8,51	1290	8,38
11.			50,7	1,4	2040	13,26	2015	13,10
12.			50,5	1	2045	13,29	2015	13,10
13.			50,4	0,8	2740	17,81	2635	17,13
14.			50,4	0,8	1850	12,02	180	1,17
15.			50,4	0,8	1990	12,93	1900	12,35
16.			50,9	1,8	1890	12,28	1855	12,06
17.			50,7	1,4	1780	11,57	1775	11,54
18.			50,4	0,8	1850	12,02	1810	11,76
19.			50,5	1	1910	12,41	1900	12,35
20.			50,7	1,4	1710	11,11	1700	11,05
21.			50,4	0,8	1820	11,83	1795	11,67
22.			50,7	1,4	1885	12,25	1800	11,70
23.			50,5	1	1770	11,50	1745	11,34
24.			50,4	0,8	1810	11,76	1795	11,67
25.			50,4	0,8	1690	10,98	1680	10,92
Rerata				1,03		12,65		11,97

Sampel Tungku Pembakaran Langsung (PL)								
	Perlakuan	L ₀ (mm)	L1 (mm)	e (%)	Pu (kgf)	σ _u (kgf/mm ²)	Pf (kgf)	σ _f (kgf/mm ²)
1.	Perlakuan Panas Heat Treatment (HT)	50	51	2	1850	12,02	1800	11,70
2.			51	2	1350	8,77	1320	8,58
3.			51	2	2250	14,62	1925	12,51
4.			51,4	2,8	2250	14,62	1950	12,67
5.			51,6	3,2	2150	13,97	1900	12,35
6.			59,9	19,8	2350	15,27	1920	12,48
7.			51,6	3,2	1900	12,35	1890	12,28
8.			51	2	2300	14,95	1880	12,22
9.			51,6	3,2	2100	13,65	1900	12,35
10.			51,4	2,8	2125	13,81	1980	12,87
11.			50,2	0,4	2145	13,94	1910	12,41
12.			50,6	1,2	2100	13,65	1970	12,80
13.			51,9	3,8	1900	12,35	1845	11,99
14.			51,3	2,6	2150	13,97	1905	12,38
15.			51	2	1900	12,35	1895	12,32
16.			51	2	2050	13,32	1995	12,97
17.			51,6	3,2	2100	13,65	1685	10,95
18.			51,9	3,8	1950	12,67	1800	11,70
19.			50,9	1,8	1950	12,67	1895	12,32
20.			51	2	1985	12,90	1875	12,19
21.			51,4	2,8	1900	12,35	1800	11,70
22.			51,4	2,8	1950	12,67	1750	11,37
23.			51,2	2,4	1975	12,84	1905	12,38
24.			51	2	1985	12,90	1860	12,09
25.			51	2	1995	12,97	1975	12,84
Rerata				3,11		13,17		12,10
Sampel Tungku Pembakaran Tidak Langsung (PTL)								
No.	Perlakuan	L ₀ (mm)	L1 (mm)	e (%)	Pu (kgf)	σ _u (kgf/mm ²)	Pf (kgf)	σ _f (kgf/mm ²)
1.	Perlakuan Panas Heat Treatment (HT)	50	50,6	1,2	2010	13,06	1950	12,67
2.			50,6	1,2	2010	12,93	1990	12,93
3.			50,7	1,4	1420	17,22	1405	9,13
4.			50,8	1,6	1775	13,32	1650	10,72
5.			50,7	1,4	1850	13,06	1805	11,73
6.			50,8	1,6	1990	9,23	1980	12,87
7.			50,7	1,4	2650	11,54	2605	16,93
8.			50,5	1	2050	12,02	1820	11,83
9.			50,9	1,8	1700	11,05	1695	11,02
10.			51	2	1870	8,45	1290	8,38
11.			51	2	1835	12,67	1805	11,73
12.			51	2	1885	13,06	1750	11,37
13.			50,7	1,4	1300	17,22	1290	8,38
14.			50,9	1,8	1950	12,15	1885	12,25
15.			50,5	1	2010	11,93	1900	12,35
16.			50,8	1,6	2650	12,25	1950	12,67
17.			50,8	1,6	1670	10,85	1580	10,27
18.			50,7	1,4	1775	11,54	1795	11,67
19.			50,6	1,2	1650	10,72	1605	10,43
20.			50,8	1,6	1650	10,72	1675	10,89
21.			50,8	1,6	1795	11,67	1665	10,82
22.			50,8	1,6	1880	12,22	1675	10,89
23.			50,7	1,4	1650	10,72	1635	10,63
24.			50,5	1	1805	11,73	1725	11,21
25.			50,9	1,8	1665	10,82	1620	10,53
Rerata				1,50		12,09		11,37

Dengan memakai data rata-rata maka nilai uji tarik CANS dapat dibuat gambar 26.



Gambar 26: Uji Tarik CANS

Dari uji tarik dapat dilihat bahwa, elongasi material yang dilebur dengan pembakaran langsung (ePL) mempunyai nilai lebih besar dibanding dengan pembakaran Tidak langsung (eTPL). Hal ini diperkirakan adanya pengaruh unsur atau elemen tersisa atau residu akibat pembakaran bahan bakar pelumas bekas. Namun bila kedua material ePL dan ePTL ini diberi perlakuan panas, maka terlihat adanya kenaikan nilai yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan karena perlakuan panas anil telah menjadikan butiran menjadi halus dan tersusun baik.

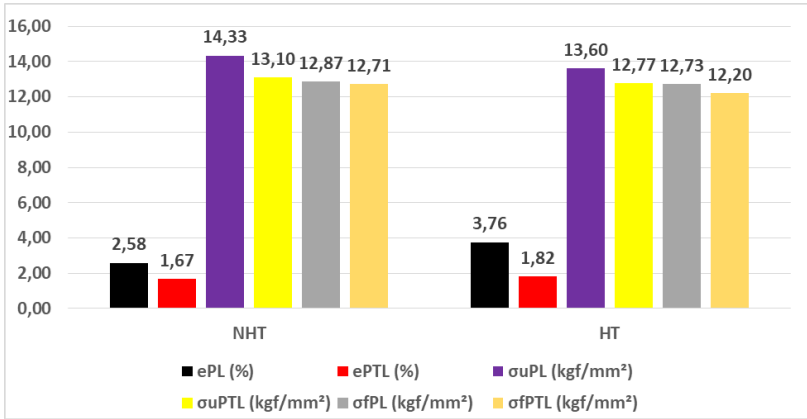
Dari gambar juga dapat dilihat bahwa besaran tegangan tarik yang didapat dari hasil pengujian tarik material yang dilebur secara langsung σ_{uPL} lebih besar dibandingkan dengan nilai uji tarik dari sampel yang dilebur secara tidak langsung σ_{uPTL} , begitu juga halnya dengan tegangan fraktur, σ_{fPL} lebih besar dibandingkan dengan σ_{fPTL} . Hal ini disebabkan karena elongasi yang meningkat akan diikuti tegangan yang menurun, begitu sebaliknya, tegangan akan naik bila elongasi menurun. Bila ditinjau dari hasil perlakuan panas terlihat bahwa, baik tegangan tarik ultimat maupun tegangan fraktur, besarnya menurun, hal ini samadengan halnya dengan elongasi, dimana butiran menjadi halus dan tersusun bila diberi perlakuan panas anil.

Untuk Uji Tarik dengan bahan peleburan Aluminium Paduan yang ditambah 10% Aluminium Batangan telah dibuat sama dengan bahan CANS (kaleng minuman). Perlakuan panas nya pun sama dengan material CANS. Hasil pengujian yang diukur dari uji tarik Alumnum Alloy (AA) seperti terlihat dalam tabel 5, dan disertai dengan hasil perhitungan tegangan tarik ulitmat dan fraktur.

Tabel 8: Uji Tarik Aluminium Alloy (AA)								
Sampel Tungku Pembakaran Langsung (PL)								
No.	Perlakuan	L ₀ (mm)	L ₁ (mm)	e (%)	Pu (kgf)	σ _u (kgf/mm ²)	Pf (kgf)	σ _f (kgf/mm ²)
1.	Tanpa Perlakuan Panas Non Heat Treatment (NHT)	50	51,8	3,6	2400	15,60	1990	12,93
2.			51	2	2005	13,03	1350	8,77
3.			52	4	2200	14,30	1680	10,92
4.			51,8	3,6	2250	14,62	1950	12,67
5.			51	2	2260	14,69	2010	13,06
6.			50,7	1,4	2450	15,92	2050	13,32
7.			51	2	1900	12,35	1850	12,02
8.			51,5	3	2230	14,49	2190	14,23
9.			51,5	3	2220	14,43	1980	12,87
10.			51,5	3	2220	14,43	2115	13,75
11.			52	4	2435	15,83	2345	15,24
12.			50,5	1	2400	15,60	2015	13,10
13.			51	2	1800	11,70	1705	11,08
14.			50,8	1,6	2165	14,07	2010	13,06
15.			51	2	2200	14,30	1905	12,38
16.			51	2	2400	15,60	1900	12,35
17.			51	2	2350	15,27	2010	13,06
18.			51,5	3	2255	14,66	2105	13,68
19.			50,9	1,8	2350	15,27	2100	13,65
20.			52	4	2100	13,65	1990	12,93
21.			51,5	3	2005	13,03	1995	12,97
22.			51,4	2,8	2005	13,03	1990	12,93
23.			51	2	2125	13,81	2100	13,65
24.			50,9	1,8	2050	13,32	1990	12,93
25.			52	4	2360	15,34	2180	14,17
Rerata				2,58		14,33		12,87
Sampel Tungku Pembakaran Tidak Langsung (PTL)								
No.	Perlakuan	L ₀ (mm)	L ₁ (mm)	e (%)	Pu (kgf)	σ _u (kgf/mm ²)	Pf (kgf)	σ _f (kgf/mm ²)
1.	Tanpa Perlakuan Panas Non Heat Treatment (NHT)	50	51	2	2100	13,65	2050	13,32
2.			51	2	2800	18,20	2750	17,87
3.			51	2	2790	18,13	2700	17,55
4.			50,9	1,8	2100	13,65	2020	13,13
5.			50,9	1,8	2105	13,68	2100	13,65
6.			50,8	1,6	1680	10,92	1500	9,75
7.			50,6	1,2	1900	12,35	1895	12,32
8.			50,4	0,8	1900	12,35	1875	12,19
9.			51	2	1750	11,37	1705	11,08
10.			50,9	1,8	1420	9,23	1190	7,73
11.			51	2	1950	12,67	1905	12,38
12.			50,5	1	2100	13,65	2010	13,06
13.			50,9	1,8	2550	16,57	2350	15,27
14.			50,8	1,6	1990	12,93	1900	12,35
15.			50,8	1,6	2105	13,68	1990	12,93
16.			51	2	1905	12,38	1890	12,28
17.			50,8	1,6	1900	12,35	1895	12,32
18.			50,5	1	1900	12,35	1895	12,32
19.			50,6	1,2	2010	13,06	1920	12,48
20.			50,7	1,4	1910	12,41	1940	12,61
21.			50,9	1,8	1920	12,48	1900	12,35
22.			51	2	1925	12,51	1905	12,38
23.			50,9	1,8	1890	12,28	1875	12,19
24.			51	2	1900	12,35	1890	12,28
25.			51	2	1905	12,38	1845	11,99
Rerata				1,67		13,10		12,71

Sampel Tungku Pembakaran Langsung (PL)								
	Perlakuan	L _o (mm)	L1 (mm)	e (%)	Pu (kgf)	σ _u (kgf/mm ²)	Pf (kgf)	σ _f (kgf/mm ²)
1.	Perlakuan Panas Heat Treatment (HT)	50	51,5	3	1890	12,28	1800	11,70
2.			51	2	1805	11,73	1755	11,41
3.			51	2	2320	15,08	1995	12,97
4.			51	2	2150	13,97	1900	12,35
5.			52	4	2235	14,53	1900	12,35
6.			59,2	18,4	2400	15,60	2180	14,17
7.			53	6	1995	12,97	1990	12,93
8.			51	2	1900	12,35	1890	12,28
9.			52	4	2225	14,46	2010	13,06
10.			51,8	3,6	1990	12,93	1980	12,87
11.			50,4	0,8	2245	14,59	2095	13,62
12.			51	2	2215	14,40	2045	13,29
13.			52	4	1995	12,97	1800	11,70
14.			51,3	2,6	2050	13,32	2010	13,06
15.			51,8	3,6	2150	13,97	2050	13,32
16.			51,9	3,8	2145	13,94	1990	12,93
17.			51	2	2090	13,58	1990	12,93
18.			52	4	2095	13,62	1995	12,97
19.			51,4	2,8	2090	13,58	1995	12,97
20.			51,6	3,2	1995	12,97	1875	12,19
21.			52	4	2100	13,65	2025	13,16
22.			51,9	3,8	2095	13,62	1915	12,45
23.			51,9	3,8	2015	13,10	1900	12,35
24.			51,7	3,4	2095	13,62	1905	12,38
25.			51,6	3,2	2035	13,23	1980	12,87
Rerata				3,76		13,60		12,73
Sampel Tungku Pembakaran Tidak Langsung (PTL)								
No.	Perlakuan	L _o (mm)	L1 (mm)	e (%)	Pu (kgf)	σ _u (kgf/mm ²)	Pf (kgf)	σ _f (kgf/mm ²)
1.	Perlakuan Panas Heat Treatment (HT)	50	51	2	2015	13,10	2010	13,06
2.			50,8	1,6	2015	13,00	1995	12,97
3.			50,9	1,8	1650	17,94	1600	10,40
4.			50,8	1,6	1890	13,68	1750	11,37
5.			50,5	1	1850	13,10	1705	11,08
6.			50,8	1,6	2000	10,72	1905	12,38
7.			50,9	1,8	2760	12,28	2450	15,92
8.			51	2	2105	12,02	1990	12,93
9.			51	2	1990	12,93	1875	12,19
10.			51,2	2,4	1850	12,67	1805	11,73
11.			51,4	2,8	2050	13,06	1990	12,93
12.			51	2	1950	12,93	1905	12,38
13.			51	2	1950	13,65	1900	12,35
14.			51	2	2010	12,02	1890	12,28
15.			50,8	1,6	1990	13,32	1910	12,41
16.			51	2	2100	12,67	2010	13,06
17.			50,8	1,6	1650	10,72	1550	10,07
18.			50,8	1,6	2005	13,03	1990	12,93
19.			50,8	1,6	1850	12,02	1760	11,44
20.			51	2	1930	12,54	1865	12,12
21.			50,8	1,6	1895	12,32	1860	12,09
22.			50,8	1,6	1905	12,38	1885	12,25
23.			50,9	1,8	1910	12,41	1790	11,63
24.			50,8	1,6	1900	12,35	1820	11,83
25.			51	2	1890	12,28	1705	11,08
Rerata				1,82		12,77		12,20

Dengan memakai data rata-rata maka nilai uji tarik AA dapat dibuat gambar 27.



Gambar 27: Uji Tarik Aluminium Alloy

Memperhatikan gambar 27, hampir mempunyai pola bentuk yang sama dengan gambar 26, dimana hasil peleburan langsung PL dan peleburan tidak langsung PTL meningkat elongasinya setelah mendapat perlakuan panas anil. Hilangnya tegangan sisa dan tersusunnya butir yang menjadi lebih baik, berakibat pada naiknya elongasi dan diikuti turunnya tegangan tarik maupun tegangan fraktur. Kenaikan elongasi dan penurunan tegangan tarik menunjukkan bahwa material tersebut menjadi lebih liat setelah mendapat perlakuan anil. Hal ini terjadi pada kedua type peleburan, baik peleburan langsung maupun tidak langsung.

5.3.3 Uji Kekerasan

Kekerasan suatu material adalah ukuran yang menunjukkan apakah material tersebut dapat dideformasi plastis pada suatu beban tertentu. Kekerasan dapat diukur dengan metode: goresan, pantulan dan penekanan. Di dunia teknik, pengujian kekerasan metode penekanan dibagi menjadi 3 (tiga) macam metode yaitu Brinell, Vickers dan Rockwell.

Uji Kekerasan Brinell.

Salahsatu alat uji yang telah dipakai dalam beberapa pengujian dan penelitian adalah Torsee Brinell Hardness Tester Type BH-3CF buatan Tokyo Testing Machine MFG. CO., LTD. Tahun 1992, (lihat gambar 28), yang mengacu kepada JIS B 7724. Sedangkan standard pengujian mengacu kepada JIS Z 2243.

Data yang dihasilkan dari pengujian kekerasan kemudian dihitung dengan perumusan sebagai berikut: (JIS, 1983)

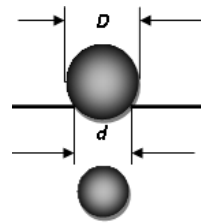
$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dimana:

P = Beban yang diberikan

D = Diameter bola indenter

d = diameter yang terbentuk akibat penetrasi indenter terhadap permukaan sampel.



Gambar 28: Alat Uji Kekerasan Brinell

Hubungan antara diameter indenter dan beban seperti terlihat pada tabel 9.

Tabel 9: Kombinasi antara Diameter Indenter dan Beban Uji
(Dieter, 1984)

Diameter Indenter D (mm)	Beban Uji F kN (kgf)	Tanda Kekerasan	Material yang Diuji (Brinell Hardness)
10	29,42 (3000)	HBS (atau HBW) (10 / 3000)	Steel Cast Iron (140 and over)
5	7,355 (750)	HBS (atau HBW) (5 / 750)	Copper and Copper alloy (over 200)
10	14,71 (1500)	HBS (atau HBW) (10 /1500)	-
10	9,807 (1000)	HBS (atau HBW) (10 / 1000)	Cast Iron (up to 140) Copper and copper alloy (35 to 200) Light metals and their alloys
10	4,903 (500)	HBS (atau HBW) (10 / 500)	Copper and copper allo (up to 35) Light metals and their alloys)

Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan Vickers menggunakan indenter piramid intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antara piramid yang saling berhadapan adalah 136° dan beban 30 kg. Mesin uji kekerasan Vickers yang ada adalah *Vickers Hardness Tester* dengan tipe VKH-2E. (Lihat gambar 29). Mesin mengacu kepada JIS B 7725 dan standard pengujian JIS Z 2244.

Antara dua bidang miring yang berhadapan adalah 136°. Skala kekerasan Vickers adalah: (JIS, 1983)

$$VHN = \frac{\text{beban}}{\text{luas penekanan}} = 1,854 \frac{p}{d^2} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

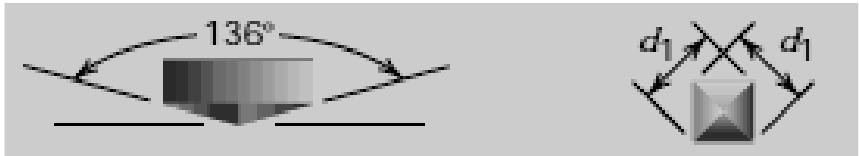


Gambar 29: Alat Uji Kekerasan Vickers.

Ketelitian pengukuran dengan cara Vickers lebih tinggi daripada cara Brinell. Selain itu cara Vickers dapat digunakan untuk material yang sangat keras.

Antara dua bidang miring yang berhadapan adalah 136° . Skala kekerasan Vickers adalah: (JIS, 1983)

$$VHN = \frac{\text{beban}}{\text{luas penekanan}} = 1,854 \frac{p}{d^2} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$



Ketelitian pengukuran dengan cara Vickers lebih tinggi daripada cara Brinell. Selain itu cara Vickers dapat digunakan untuk material yang sangat keras.

Hubungan antara angka kekerasan dan beban uji terlihat pada tabel 10.

Tabel 10: Hubungan antara tanda kekerasan dan beban pengujian (Dieter, 1984)

Tanda kekerasan	Beban	Tanda kekerasan	Beban
HV0,001	9,807 mN	HV0,3	2,942 N
HV0,002	19,61 mN	HV0,5	4,903 N
HV0,003	29,42 mN	HV1	9,807 N
HV0,005	49,03 mN	HV2	19,61 N
HV0,01	98,07 mN	HV5	49,03 N
HV0,025	0,2452 N	HV10	98,07 N
HV0,05	0,4903 N	HV20	196,1 N
HV0,1	0,9807 N	HV30	294,2 N
HV0,2	1,916 N	HV50	490,2 N

Uji Kekerasan Rockwell

Metode Rockwell menggunakan dalamnya bekas penekanan sebagai ukuran kekerasan material. Beban yang dipakai adalah: 60, 100 dan 150 kg. Indenter yang digunakan

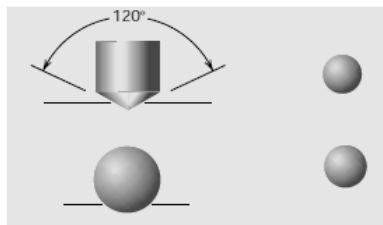
adalah kerucut intan dengan sudut 120° dan bola baja dengan diameter 1/16, 1/8, 1/4 in. (JIS, 1983)

Skala Rockwell dinyatakan sebagai berikut :

$$RB = 130 - \frac{\text{dalamnya penekanan (mm)}}{0,002}$$

$$RC = 100 - \frac{\text{dalamnya penekanan (mm)}}{0,002}$$

Pengukuran cara Rockwell dapat berlangsung lebih cepat karena skala Rockwell langsung ditunjukkan pada *dial indicator*.



Standard yang digunakan pada pengujian Rockwell ini adalah JIS Z 2245. Mesin pengujian kekerasan Rockwell menurut standard adalah JIS B 7726.

Hubungan antara Kekerasan Rockwell dan Skala Kekerasannya terlihat pada tabel 11.

Tabel 11: Hubungan antara kekerasan Rockwell dan skala kekerasan (Dieter, 1984)

	Tanda kekerasan	Skala	Indenter	Beban awal N (kgf)	Beban uji N (kgf)	Persamaan untuk menentukan kekerasan
Kekerasan Rockwell	HRA	A	Intan dengan radius kelengkungan ujung (tip) 0.2 mm dan sudut 120°	98,07 (10)	588,4 (60)	HR = 100-0.5h
	HRC	C			1471 (150)	
	HRF	F	Baja atau tungsten carbide alloy ball dengan diameter 1,5875 mm		588,4 (60)	HR = 130-0.5h
	HRB	B			980,7 (100)	
	HRG	G			1471	

				150)	
	HRH	H	Baja atau cemented carbide alloy ball dengan diameter 3,175 mm	588,4	
	HRE	E		(60)	
				980,7	
				(100)	
				1471	
Kekerasan Rockwell superficial	HR	15 N	Intan dengan radius kelengkungan ujung (tip) 0.2 mm dan sudut 120°	147,1	HR = 100-h
	15N	30 N		(15)	
	HR	30 N		294,2	
	30N	45 N		(30)	
	HR	45 N		441,3	
	45N		(45)		
	HR	15 T	Baja atau cemented carbide alloy ball dengan diameter 1,5875 mm	147,1	
	15T	30 T		(15)	
	HR	30 T		294,2	
	30T	45 T		(30)	
HR	45 T	441,3			
45T		(45)			
			29,42		
			(3)		

Adapun alat uji kekerasan Rockwell seperti terlihat pada gambar 30.



Gambar 30: Alat Uji Kekerasan Rockwell

Dalam hal pengujian kekerasan yang telah dilakukan memakai Uji Brinell, dengan material antara lain aluminium batangan maupun kaleng minuman, dilakukan perlakuan panas maupun tidak mendapat perlakuan panas. Diameter indenter $D = 5$ mm, beban yang diberikan 500 kg. Sampel uji seperti terlihat pada gambar 31;



Gambar 31: Sampel Uji Kekerasan

Hasil pengujian dan perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan Uji Brinell, dapat dilihat seperti tabel 12.

Tabel 12: Kekerasan Brinell CANS				
Pembakaran Tidak Langsung - PTL				
	Non Heat Treatment - NHT		Heat Treatment - HT	
No.	d (mm)	BHN	d (mm)	BHN
1.	2,9	59,04	3	63,69
2.	2,6	46,44	3	63,69
3.	2,9	59,04	3	63,69
4.	3	63,69	3	63,69
5.	2,6	46,44	2,9	59,04
6.	2,9	59,04	2,8	54,62
7.	2,7	50,43	2,7	50,43
8.	2,7	50,43	2,7	50,43
9.	2,7	50,43	2,6	46,44
10.	2,9	59,04	2,4	39,09
11.	2,7	50,43	2,6	46,44
12.	2,9	59,04	2,5	42,67
13.	2,9	59,04	2,6	46,44
14.	2,5	42,67	3	63,69
15.	2,6	46,44	2,8	54,62
16.	2,9	59,04	2,9	59,04
17.	2,8	54,62	2,7	50,43
18.	2,8	54,62	3	63,69
19.	2,4	39,09	2,4	39,09
20.	2,7	50,43	2,3	35,69
21.	2,6	46,44	2,4	39,09
22.	2,5	42,67	3	63,69
23.	3	63,69	2,7	50,43
24.	2,9	59,04	2,7	50,43
25.	2,9	59,04	2,7	50,43
26.	2,6	46,44	3	63,69
27.	2,9	59,04	2,8	54,62
28.	3	63,69	2,5	42,67
29.	2,7	50,43	2,4	39,09
30.	2,9	59,04	2,6	46,44
Rerata		53,63		51,91

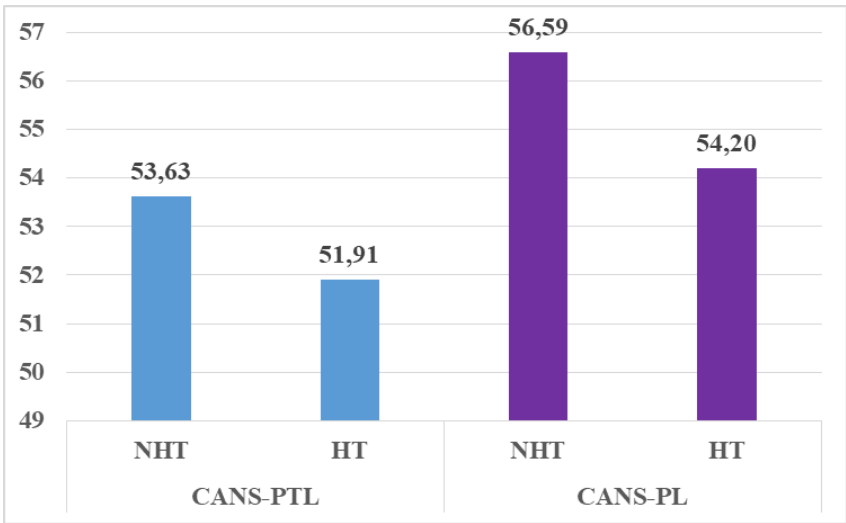
Pembakaran Langsung - PL					
	NHT			HT	
1.	3	63,69		3	63,69
2.	3	63,69		3	63,69
3.	3	63,69		2,9	59,04
4.	3	63,69		2,8	54,62
5.	2,9	59,04		2,9	59,04
6.	2,8	54,62		2,8	54,62
7.	2,9	59,04		3	63,69
8.	2,8	54,62		3	63,69
9.	2,8	54,62		3	63,69
10.	2,9	59,04		2,8	54,62
11.	2,7	50,43		2,7	50,43
12.	2,9	59,04		2,8	54,62
13.	2,8	54,62		2,8	54,62
14.	3	63,69		2,6	46,44
15.	2,9	59,04		2,7	50,43
16.	2,9	59,04		2,9	59,04
17.	2,7	50,43		2,4	39,09
18.	3	63,69		2,6	46,44
19.	2,7	50,43		2,9	59,04
20.	2,7	50,43		2,7	50,43
21.	2,4	39,09		2,7	50,43
22.	3	63,69		2,8	54,62
23.	2,9	59,04		2,9	59,04
24.	2,7	50,43		2,8	54,62
25.	2,8	54,62		2,6	46,44
26.	3	63,69		2,5	42,67
27.	2,9	59,04		2,5	42,67
28.	2,6	46,44		2,9	59,04
29.	2,7	50,43		2,9	59,04
30.	2,8	54,62		2,6	46,44
	Rerata	56,59			54,20

Dari hasil perhitungan sampel CANS tersebut maka dapat dibuat grafik seperti gambar 32.

Tabel 13: Kekerasan Brinell Aluminium Alloy

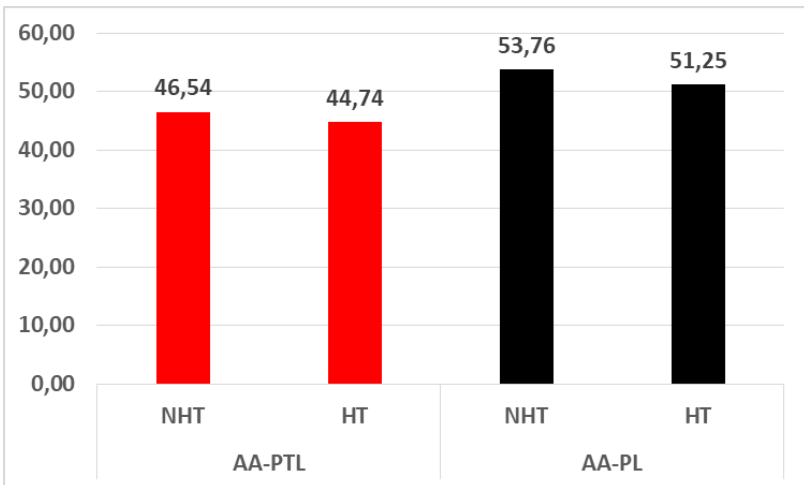
Pembakaran Tidak Langsung - PTL				
	Non Heat Treatment -		Heat Treatment -	
No.	d (mm)	BHN	d (mm)	BHN
1.	2,5	42,67	2,9	59,04
2.	2,3	35,69	2,8	54,62
3.	2,5	42,67	3	63,69
4.	2,8	54,62	2,4	39,09
5.	2,7	50,43	2,9	59,04
6.	2,6	46,44	2,3	35,69
7.	2,4	39,09	2,2	32,48
8.	2,4	39,09	2,8	54,62
9.	2,4	39,09	2,5	42,67
10.	2,5	42,67	2,3	35,69
11.	2,6	46,44	2,5	42,67
12.	2,8	54,62	2,4	39,09
13.	2,8	54,62	2,3	35,69
14.	2,4	39,09	2,9	59,04
15.	2,5	42,67	3	63,69
16.	2,8	54,62	3	63,69
17.	2,7	50,43	3	63,69
18.	2,8	54,62	2,6	46,44
19.	2,4	39,09	2,2	32,48
20.	2,3	35,69	2,3	35,69
21.	2,3	35,69	2,3	35,69
22.	2,2	32,48	2,5	42,67
23.	2,7	50,43	2,5	42,67
24.	3	63,69	2,2	32,48
25.	3	63,69	2,1	29,45
26.	2,6	46,44	2,5	42,67
27.	2,8	54,62	2,3	35,69
28.	2,8	54,62	2,2	32,48
29.	2,3	35,69	2,4	39,09
30.	2,8	54,62	2,7	50,43
Rerata		46,54		44,74

Pembakaran Langsung - PL				
	NHT		HT	
1.	2,9	59,04	3	63,69
2.	2,9	59,04	2,8	54,62
3.	2,9	59,04	2,8	54,62
4.	2,8	54,62	2,8	54,62
5.	3	63,69	2,9	59,04
6.	3	63,69	2,8	54,62
7.	2,8	54,62	2,8	54,62
8.	2,7	50,43	2,9	59,04
9.	2,9	59,04	2,9	59,04
10.	2,8	54,62	2,8	54,62
11.	2,7	50,43	2,8	54,62
12.	3	63,69	2,6	46,44
13.	2,4	39,09	2,5	42,67
14.	2,9	59,04	2,7	50,43
15.	2,8	54,62	2,6	46,44
16.	2,8	54,62	2,8	54,62
17.	2,7	50,43	2,7	50,43
18.	2,8	54,62	2,5	42,67
19.	2,6	46,44	2,8	54,62
20.	2,6	46,44	2,6	46,44
21.	2,4	39,09	2,6	46,44
22.	2,8	54,62	2,7	50,43
23.	3	63,69	2,8	54,62
24.	2,7	50,43	2,7	50,43
25.	2,7	50,43	2,5	42,67
26.	2,9	59,04	2,4	39,09
27.	2,8	54,62	2,5	42,67
28.	2,7	50,43	3	63,69
29.	2,5	42,67	2,4	39,09
30.	2,7	50,43	2,7	50,43
	rerata	53,76		51,25



Gambar 32: Uji Kekerasan Brinell CANS

Untuk sampel uji kekerasan material Aluminium Alloy (AA) hasil pengujian seperti tabel 13, dapat digambarkan grafik seperti gambar 33.



Gambar 33: Uji Kekerasan Brinell Aluminium Alloy

Besaran Nilai Kekerasan Brinell (Brinell Hardnes Number) untuk material CANS dan Aluminium Alloy dihitung dengan menggunakan rumus yang ditetapkan. Bola indentor baja berdiameter (D) 5 mm dipakai dalam penelitian, dimana beban yang diberikan adalah 500 kgf. Untuk mendapatkan hasil pengukuran akurat, diameter penjejakan (d) indentor ke permukaan sampel diukur menggunakan makroskop Olympus. Sampel berjumlah 15, dengan 2 (dua) titik penjejakan tiap sampel. Terdapat 60 sampel yang digunakan, yang masing-masing 30 sampel didapat dari hasil peleburan Pembakaran Tidak Langsung (PTL) dan Pembakaran Langsung (PL). Dari hasil PTL dan PL, sampel dibagi 2 (dua), satu grup sampel berjumlah 15 diberi perlakuan panas anil - HT, dan 15 sampel tidak diberi perlakuan panas - NHT. Hasil pengukuran dan perhitungan dapat dilihat pada tabel 6. Hasil perhitungan BHN dibuatkan grafik seperti terlihat pada gambar 9. Untuk bahan dari proses peleburan tidak langsung (PTL), bila dibandingkan dengan dari hasil proses pembakaran langsung, maka terlihat bahwa BHN dari PTL sebesar 53,63 lebih kecil dibandingkan dengan BHN PL sebesar 56,59. Ini berarti peningkatan nilai kekerasan yang cukup signifikan, bila dilebur dengan cara peleburan secara langsung. Diperkirakan panas yang berlebih dari bahan bakar pelumas bekas telah menjadikan hasil leburan menjadi lebih keras. Namun bila diperhatikan bilamana sampel dari kedua jenis peleburan tersebut diberikan perlakuan panas, maka telah terjadi penurunan BHN yang sangat signifikan. Dibandingkan dengan uji tarik maka terlihat elongasi dari kedua jenis peleburan itu bilamana diberikan perlakuan panas, telah meningkat. Ini berarti bahwa telah terjadi peningkatan elongasi, yang berarti bahwa struktur daripada atom telah tersusun dengan baik.

Perlu dipahami bahwa, preparasi sampel sampel untuk uji kekerasan samadengan sampel uji tarik, impak dan juga fatik,

harus dilakukan berulang-ulang. Hal ini dilakukan dengan memperhatikan bentuk fisik daripada sampel, dimana sampel yang terpilih harus tidak kropos, tidak retak dan tidak berpori berlebihan. Sehingga dengan prakteknya dibutuhkan banyak sampel dari beberapa kali peleburan. Keputusan untuk mengulang penggantian sampel dilakukan karena besarnya penyimpangan atau standard deviasi.

5.3.4. Hasil Uji Fatik (MS *et al.*, 2019)

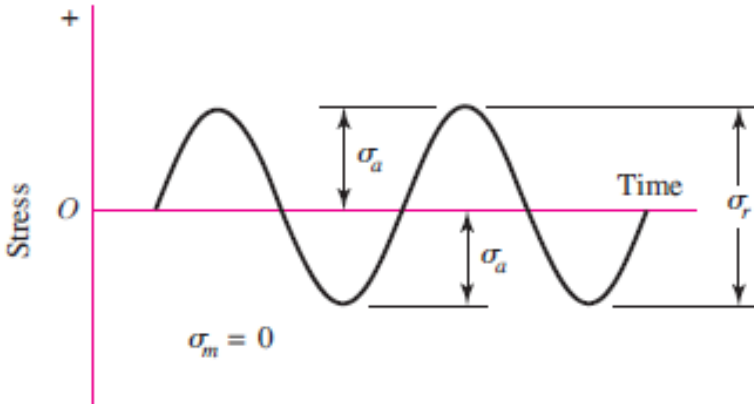
Metode dasar untuk penyajian data fatik adalah menggunakan kurva S-N, dalam pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus hingga terjadi kegagalan (N). Nilai tegangan yang diplot dapat berupa nilai tegangan maksimum, tegangan minimum atau nilai rata-rata tegangan (Tawaf, Suprpto and Purnowidodo, 2014), menurut (Totten and D Scoot MacKenzie, 2003), data rekayasa kelelahan biasanya ditampilkan secara grafis di kurva S-N di mana stres diterapkan s (atau S) diplot terhadap logaritma dari jumlah siklus, N. Dengan meningkatnya tegangan, jumlah siklus kegagalan menurun. Untuk baja, kurva S-N menjadi horizontal di beberapa tingkat stres yang rendah. Hal ini disebut batas kelelahan (*fatigue limit*). Sehingga tujuan daripada pengujian Fatik adalah untuk mengetahui kemampuan material untuk menerima beban dinamis hingga batas lelah material tersebut. Dengan kata lain, pengujian fatik dilakukan untuk mengetahui ketahanan lelah spesimen yang dilakukan di Laboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan menggunakan alat uji fatik *Torse's Torsion Repeated and Bending Fatigue Machine*

Dasar Teori (Arifta and Nukman, 2016)

Fatik atau kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi dibawah yield strength yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Fatik menduduki 90% penyebab utama kegagalan

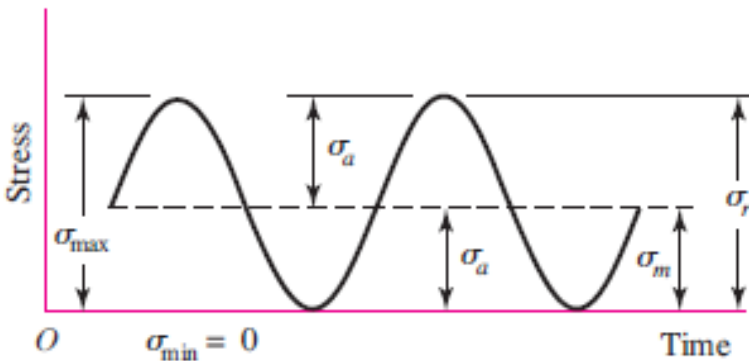
pemakaian. Terdapat 3 fase dalam perpatahan fatik: permulaan retak, penyebaran retak, dan patah. Tiga jenis siklus tegangan yang umum terjadi diperlihatkan pada gambar 34, 35, dan 36: (Budynas–Nisbett, 2005).

1. Siklus Bolak Balik.



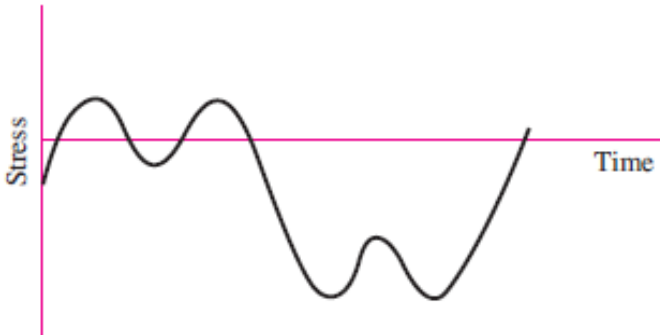
Gambar 34: Siklus Bolak Balik

2. Siklus Reverse.



Gambar 35: Siklus Reverse

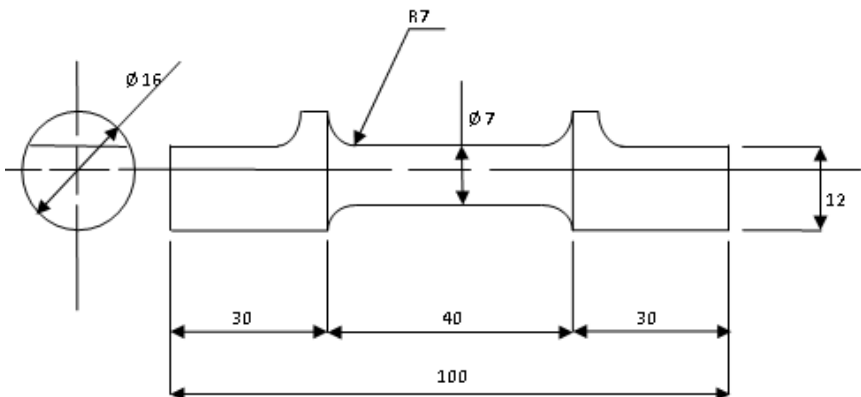
3. Siklus Acak (Random).



Gambar 36: Siklus Acak

Dimensi Spesimen Uji Fatik

Ukuran standar sampel untuk pengujian mesin uji lelah *fatigue Torsion Repeated and Bending Fatigue Machine* dengan standar JIS Z 2273 pada Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya berdasarkan *Instruction Manual, Tokyo Testing Machine MFG. CO., LTD* terdapat pada Gambar 37. Gambar 38 adalah sampel uji Fatik.



Gambar 37: Dimensi Spesimen Uji Fatik



Gambar 38: Sampel Uji Fatik

Mesin Uji Fatik

Mesin yang digunakan adalah mesin uji lelah *fatigue Torsion Repeated and Bending Fatigue Machine* (gambar 39), standar JIS Z 2273.

Adapun spesifikasi alat sebagai berikut:

1. Daya mesin : 0.33 HP
2. Voltage mesin : 115 V
3. Frekuensi : 50 Hz
4. Beban Bending maksimum: 200 lb-in terbagi tiap 10 lb-in
5. Putaran maksimum : 10.000 rpm
6. Arus : 4.5 Ampere



Gambar 39: Mesin uji fatigue Torsion Repeated and Bending Fatigue Machine

Material aluminium bekas yang dipakai dalam uji fatik ini adalah kaleng bekas minuman bermerek the Coca cola Company. Pengujian fatik menggunakan dua macam furnace yaitu Direct Furnace dan Indirect Furnace (fire furnace). Selain itu juga dilakukan pengujian terhadap peleburan ulang dari kedua macam furnace tersebut.

Bahan bakar yang dipakai untuk kedua tahap peleburan ini menggunakan pelumas bekas.

Kemudian untuk mendapatk

an hasil coran yang lebih baik maka diperlukan perlakuan panas. Semua sampel dipisahkan dan diberi kodifikasi yang mendapatkan perlakuan panas dan tidak mendapatkan perlakuan panas. Sampel diberi perlakuan panas anealing pada temperatur 330°C dengan waktu tahan selama 60 menit. Alat uji yang dipakai

Torsion Repeated and Bending Fatigue Testing Machine yang mengacu pada standar JIS Z 2273.

Anealing merupakan salah satu metode perlakuan panas yang sering digunakan untuk melakukan penuaan terhadap suatu material agar mendapatkan kualitas terbaik dari suatu material (*Liu and Xiong, 2011*).

Hasil perhitungan berdasarkan data pengukuran dan rancangan penelitian (*Firdaus MS et al., 2019*) seperti terlihat pada terlihat tabel 14.

Tabel 14. Perhitungan Uji Fatik

NON HEAT TREATMENT				
	DF (Direct Furnace) NHT		RC-DIF (Re Cast–Direct Furnace) NHT	
Angle	N (Cycle)	Stress (MPa)	N (Cycle)	Stress (MPa)
1°	18300	1943,14	279700	1943,14
2°	4250	3886,39	75550	3886,39
3°	2450	5830,53	3950	5830,53
	IF (Indirect Furnace) NHT		RC-IFI (Re Cast–Indirect Furnace) NHT	
Angle	N (Cycle)	Stress (MPa)	N (Cycle)	Stress (MPa)
1°	75500	1943,14	188750	1943,14
2°	46050	3886,39	36750	3886,39
3°	11750	5830,53	22900	5830,53

HEAT TREATMENT				
	DF (Direct Furnace) NHT		RC-DIF (Re Cast–Direct Furnace) NHT	
Angle	N (Cycle)	Stress (MPa)	N (Cycle)	Stress (MPa)
1°	47500	1943,14	16800	1943,14
2°	7150	3886,39	2950	3886,39
3°	2850	5830,53	600	5830,53
	IF (Indirect Furnace) NHT		RC-IFI (Re Cast–Indirect Furnace) NHT	
Angle	N (Cycle)	Stress (MPa)	N (Cycle)	Stress (MPa)
1°	29000	1943,14	87400	1943,14
2°	5200	3886,39	43550	3886,39
3°	2400	5830,53	550	5830,53

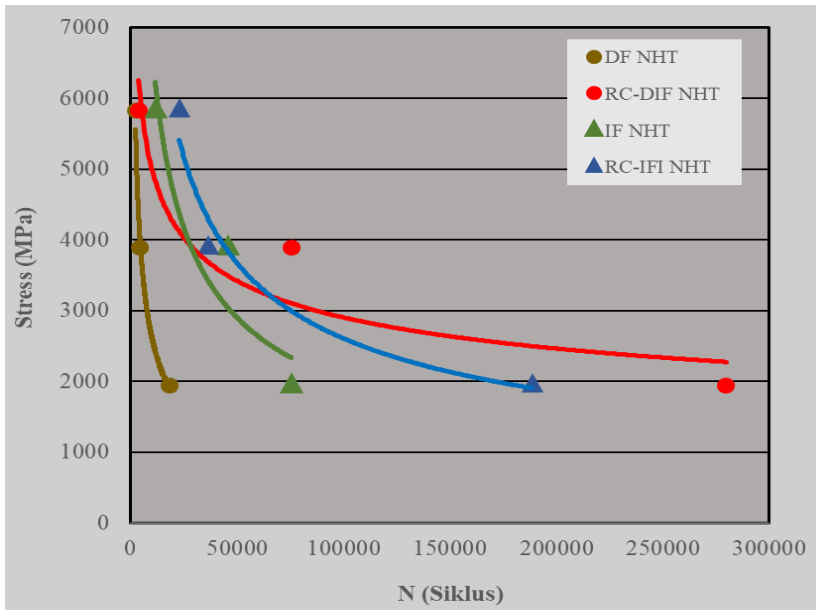
A. Pengaruh Peleburan Ulang

Hasil perhitungan dalam tabel 14 digambarkan seperti pada gambar 40 dan 41.

Peleburan ulang dari material yang telah dilebur sebelumnya di Direct Furnace (DF NHT) ke peleburan ulang Indirect Furnace (RC-DIF NHT) telah meningkatkan siklus yang lebih besar bagi sampel berbeban ulang (lihat gambar 40). Banyaknya impurities yang terbakar karena diperkirakan adanya unsur-unsur kandungan pelumas bekas sebagai bahan bakar pada proses Direct Furnace. Diperkirakan banyak unsur-unsur dari pembakar yang belum terdeteksi yang mampu membakar dan mengurangi jumlah impurities dalam hasil tuangan aluminium.

Menggunakan Indirect Furnace dalam peleburan maka besar Siklus N menjadi lebih besar dibandingkan dengan peleburan Direct Furnace (DF NHT). Diperkirakan akibat

pengaruh bahan bakar yang dibakar langsung ke aluminium bekas, dimana sejumlah impurities tidak sempat terbakar habis.



Gambar 40. Pengaruh peleburan Ulang pada Beban Berulang.

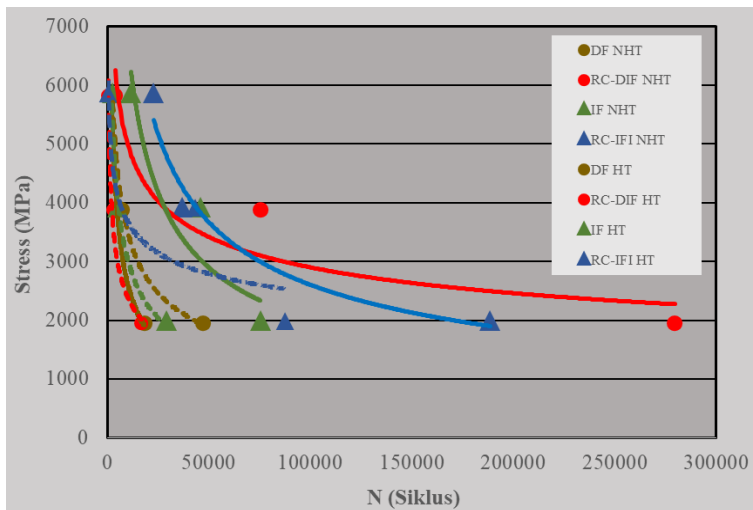
Dari gambar 41 dapat dilihat bahwa, material yang dilebur dalam Indirect Furnace (IF-NHT) lalu dilebur kembali dalam Direct Furnace (RC-IFI-NHT), berakibat mningkatnya nilai siklus rata-rata yang cukup berarti. Sehingga dapat dikatakan bahwa peleburan ulang dari DF-NHT ke RC-DIF-NHT dan dari IF-NHT ke RC-IFI-NHT, telah meningkatkan kemampuan material menerima beban berulang yang lebih besar.

B. Pengaruh Perlakuan Panas

Dari gambar 41 dapat dilihat, hampir keseluruhan sampel yang mendapat perlakuan panas berakibat menurunkan kemampuan siklus untuk menerima beban berulang, kecuali untuk hasil peleburan dengan DF-NHT ke DT-HT yang mengalami

peningkatan, yang diperkirakan akibat unsur-unsur sisa pembakaran bahan bakar pelumas bekas telah memberikan kemampuan menerima beban berulang.

Juga dapat dilihat dari gambar 41, sampel yang mampu menerima beban berulang dan terbesar didapat pada sampel hasil peleburan ulang dengan menggunakan Indirect Furnace yang tidak mendapat perlakuan panas (RC-DIF-NHT).



Gambar 41. Pengaruh Perlakuan Panas pada Beban Berulang

Hasil uji komposisi untuk 4 jenis sampel seperti terlihat pada tabel 15.

Tabel 15. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

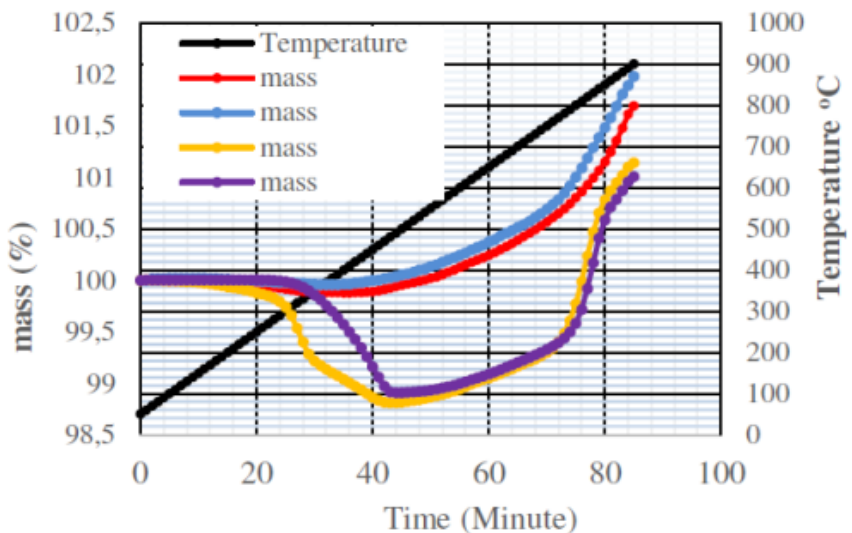
DF (Direct Furnace) NHT			RC-DIF (Re Cast–Direct Furnace) NHT	
No	Element	Komposisi (%)	Element	Komposisi (%)
1	Aluminium (Al)	96,435	Aluminium (Al)	94,779
2	Silicon (Si)	1,145	Silicon (Si)	1,261
3	Mangan (Mn)	0,777	Mangan (Mn)	0,607

4	Besi (Fe)	1,115	Besi (Fe)	1,712
5	Tembaga (Cu)	0,299	Nikel (Ni)	0,031
6	Seng (Zn)	0,209	Tembaga (Cu)	0,36
7	Plumbum (Pb)	0,015	Seng (Zn)	1,231
8	Timah (Sn)	0,005	Molebdenum (Mo)	0,018
IF (Indirect Furnace) NHT			RC-IFI (Re Cast-Indirect Furnace) NHT	
No	Element	Komposisi (%)	Element	Komposisi (%)
1	Aluminium (Al)	96,525	Aluminium (Al)	95,326
2	Silicon (Si)	1,082	Silicon (Si)	1,153
3	Mangan (Mn)	0,733	Mangan (Mn)	0,720
4	Besi (Fe)	1,115	Besi (Fe)	1,865
5	Tembaga (Cu)	1,082	Nikel (Ni)	0,026
6	Seng (Zn)	0,317	Tembaga (Cu)	0,463
7	Plumbum (Pb)	0,256	Seng (Zn)	0,436
8	Timah (Sn)	0,015	Timah (Sn)	0,009

5.4. Oksidasi Material

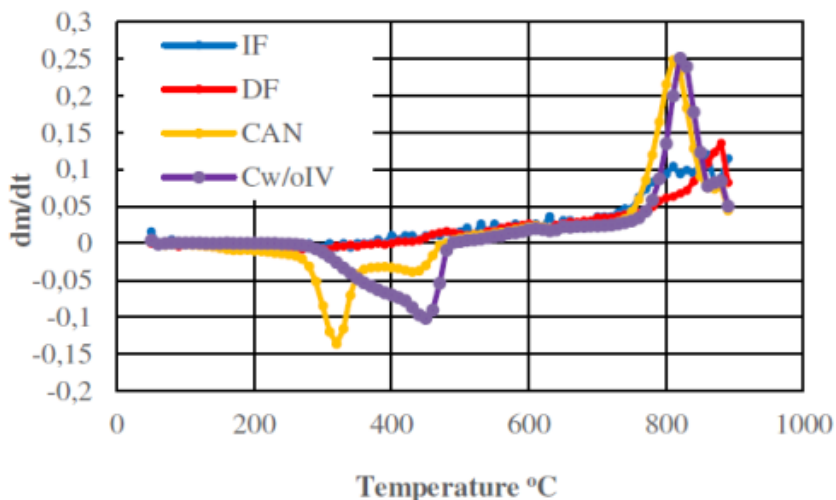
Penelitian dengan menggunakan alat Thermo Gravimetry Analyzer (TGA) telah dilakukan (Nukman, Yani, Arifin, Ms, *et al.*, 2018), yang dipakai type Q500. Alat ini berguna untuk mengukur jumlah dan laju perubahan massa pada material, baik sebagai fungsi dari temperatur, atau secara isothermal sebagai fungsi waktu, dalam tekanan atmosfer. Penelitian untuk oksidasi material aluminium kaleng minuman, oksigen yang dipakai dengan kemurnian 99%, temperatur maksimum di setting pada 900°C dengan laju pemanasan yang konstan (Ramp) 10°C/menit. Ada 4 (empat) jenis material yang dipakai berbahan dasar kaleng minuman yang dipakai dalam penelitian ini. Kodifikasi yang diberikan dalam pengujian adalah kaleng minuman disebut sebagai CAN, CAN tanpa pernis dan tinta disebut sebagai Cw/oIV, kemudian DF yang merupakan bahan dari pencairan kaleng minuman, yang langsung meleleh di mana api pembakaran menyentuh permukaan material secara langsung, dan terakhir

kaleng minuman hasil peleburan secara tidak langsung disebut sebagai IF. Dua macam tungku yang digunakan dalam peleburan ini menggunakan bahan bakar pelumas bekas. Tiga jenis kaleng minuman yang dipakai diambil dari kaleng minuman bermerek coke, fanta dan sprite yang merupakan produksi dari minuman bermerek tunggal yaitu the cocacola company. Hasil pengukuran dengan TGA menghasilkan grafik hubungan antara berat (%), waktu (menit) dan temperatur ($^{\circ}\text{C}$) (lihat gambar 42). Dari gambar 42, dapat dilihat bahwa massa pada awal pemanasan mengalami pengurangan massa, ini sesuai dengan yang diungkapkan oleh (Zhorin, Kiselev and Roldugin, 2013). Dari gambar 42 tersebut terlihat bahwa bentuk empat jenis sampel yang berbeda dan dibedakan dalam dua pola grafik. CAN dan Cw/oIV memiliki pola grafik yang sama, begitupula DF dan IF berpola tersendiri. Jenis sampel keempat mengalami pengurangan massa, terutama sampel dapat mengalami pengurangan massa yang sangat besar dibandingkan dengan Cw/oIV (Nukman, Yani, Arifin and Ms, 2018).



Gambar 42. Hubungan antara massa, waktu dan temperatur

Untuk mengukur temperatur puncak, dapat digunakan Gambar 43 yang merupakan hubungan antara dm/dt yaitu merupakan perubahan massa ke waktu.



Gambar 43. Laju Penurunan massa terhadap Temperatur

Dari gambar 42 dan 43 dapat dibuat tabel proses seperti terlihat pada tabel 16.

Tabel 16: Proses TGA

No	Nama Sampel	Rentang Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Pengurangan Massa (%)	Proses	Energi aktivasi (J/mol)
1.	CAN	320-470	15	1,1	Terbakarnya pernis dan tinta merek	318,8
		470-610			Oksidasi dimulai pada 470°C	
2.	Cw/oIV	450-490	4	1	puncak reduksi massa pada 450°C	

		490-590			Oksidasi dimulai pada 490°C	350
4.	DF	~430	35	0,12	Terbakarnya sisa pembakaran pelumas bekas dan kelembaban permukaan material	
		500-600			Proses oksidasi dimulai pada 500 °C	186,2
5.	IF	349-379	3	0,04178	Tidak ada kotoran yang terbakar	
		400-610			Proses oksidasi dimulai pada 400 °C	92,17

Kisaran temperatur yang besar dari IF menunjukkan lamanya waktu yang diperlukan untuk proses oksidasi dibandingkan dengan sampel lain (lihat Gambar 43).

Dari tabel 16 dapat dilihat bahwa sampel DF memiliki energi aktivasi yang lebih besar dibandingkan dengan IF. Peleburan langsung (DF) telah menunjukkan kelebihan dibandingkan dengan peleburan tidak langsung (IF). Perbedaan temperatur rendah dari sampel DF telah menghasilkan energi aktivasi yang lebih besar dibandingkan dengan sampel IF. Ini menunjukkan bahwa peleburan langsung, dimana nyala pembakaran yang diarahkan langsung ke bahan aluminium telah mengurangi unsur pengotor secara signifikan. Demikian juga bila dibandingkan antara sampel CAN yang merupakan sampel yang masih mengandung tinta dan pernis, yang membutuhkan temperatur lebih besar daripada Cw/oIV yang merupakan kaleng tanpa tinta dan pernis.

5.5. Keausan

Keausan adalah hilangnya materi dari permukaan benda padat sebagai akibat dari gerakan mekanik. Keausan umumnya dianalogikan sebagai hilangnya materi sebagai akibat interaksi mekanik dua permukaan yang bergerak dan dibebani. Ini merupakan fenomena normal yang terjadi jika dua permukaan saling bergesekan, maka akan ada keausan atau perpindahan materi yang terjadi antara dua benda yang bergesekan. Suatu komponen struktur dan mesin agar berfungsi dengan baik sebagaimana mestinya sangat tergantung pada sifat-sifat yang dimiliki material.

Salahsatu metode pengujian keausan adalah metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terkelupas dari benda uji. Untuk menghitung besarnya laju keausan, digunakan rumus seperti berikut:

$$W = \frac{B.b^3}{8.r.P.l}$$

Dimana:

W = mm²/kg

B = Tebal Disk = 3 mm

b = Bekas keausan yang diukur.

r = jari jari disk = 13,3 mm (untuk perbesaran 50 X, dibagi dengan 19 atau 38 untuk perbesaran 100X)

P = Load (2,12 kg)

l = Jarak pemakanan goresan (abrasion distance) (66,6 m)

Sampel Uji Keausan

Prinsip pengujian keausan dilakukan dengan cara menggesekkan piringan berputar terhadap spesimen. Pengujian keausan dilakukan dengan mesin uji Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Mechine tipe OAT-U. Pengujian keausan mengacu pada metode Reiken Ogoshi dengan lebar piringan pegas 3 mm, jari-jari pengaus 15 mm, beban tekan pada pengaus 2,12 kg, jarak tempuh selama proses pengausan 66,6 m dengan waktu pengausan 60 detik. Lebar keausan pada permukaan spesimen diukur dengan bantuan mikroskop optik.

Sampel uji keausan dibuat dalam bentuk dengan dimensi panjang 30 mm, lebar 25 mm dan tebal 10 mm, lihat Gambar 44.



Gambar 44: Sampel Uji Keausan (Belum pengamplasan)

Pada sampel sampel telah diberikan perlakuan panas Anil pada tempartur 415 °C selama 1 jam dan quench pada temperatur 400 °C selama 1 jam dengan pendinginan media air.

Annealing didefinisikan sebagai operasi pemanasan di atas temperatur tertentu dipanaskan dalam temperatur merata dengan diikuti pendinginan yang telah ditentukan secara perlahan-lahan. Untuk mencapai pengembalian sifat yang diinginkan seperti melunakkan material logam, menghilangkan tegangan dalam atau sisa, memperbaiki butir-butir logam.

Tujuan utama *quenching* adalah meningkatkan kekerasan logam, sedangkan kunci utama dalam proses quenching adalah pengaturan laju pendinginan pada logam. Jika laju pendinginan terlalu lambat, logam menjadi lebih getas dan kekerasan akan berkurang. Jika laju pendinginan terlalu cepat, maka akan terjadi distorsi dan retak pada logam.

Gambar 45 adalah gabungan dua hasil peleburan material aluminium yang berasal dari kaleng minuman dan dari campuran batangan aluminium dan aluminium paduan. Bahan utama daripada kaleng minuman terbuat dari dua paduan aluminium, bagian badan kaleng adalah Al3003 (paduan Al dan Mn) dan bagian tutup kaleng dari Al3004. Dalam penelitian kedua jenis aluminium ini dicampur dengan perbandingan berat 90: 10 (%). Perlakuan panas Anil diberikan kepada dua macam material pada temperatur 415°C dan 400°C untuk quench bermedia air.

Hasil pengukuran dan perhitungan seperti terdapat pada tabel 17.

Tabel 17: Keausan CANS*)

No.	Spesimen	Width		bo (mm)	Nilai Keausan (mm ² /kg)	
		Strip	bo (strip)			rerata
1	NHT1	22	22,80	1,20	3,45E-07	3,59E-07
2		15				
3		16				
4		23				
5		20				
1	NHT2	20	23,40	1,23	3,73E-07	
2		22				
3		25				
4		23				
5		24				
1	Annealing 1	21	24,02	1,26	4,03E-07	
2		25				
3		26				
4		22				
5		23				
1	Annealing 2	31	26,07	1,37	5,16E-07	
2		26				
3		27				
4		22				
5		21				
1	Quenching 1	30	28,12	1,48	6,47E-07	
2		31				
3		30				
4		6				
5		40				
1	Quenching 2	17	18,27	0,96	1,78E-07	
2		19				
3		20				
4		18				
5		15				

*) Deni Iswara dan Nukman, 2018

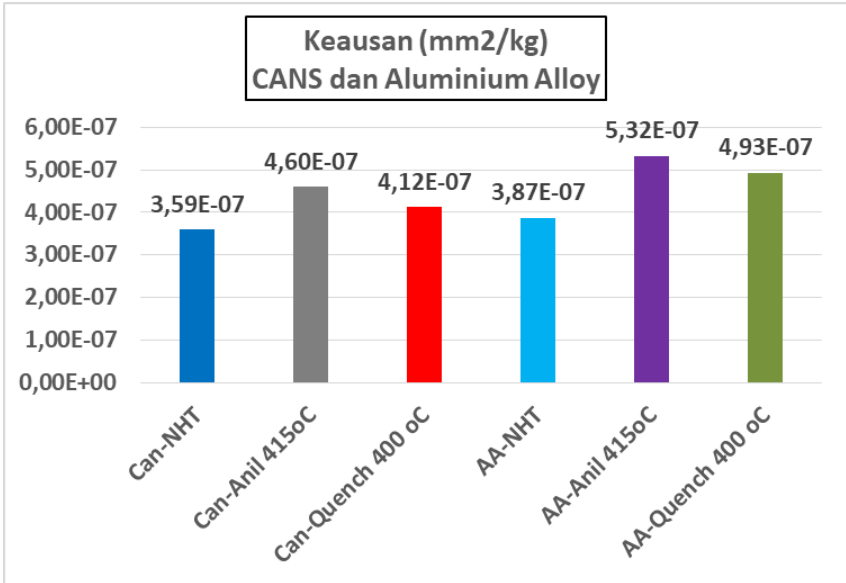
Tabel 18: Aluminium Alloy ALLOY (AA)

No.	Spesimen	Width		bo (mm)	Nilai Keausan (mm ² /kg)	
		Strip	bo (strip)			rerata
1	NHT1	24	21,40	1,13	2,85E-07	3,87E-07
2		16				
3		16				
4		27				
5		24				
1	NHT2	26	25,60	1,35	4,88E-07	3,87E-07
2		24				
3		28				
4		24				
5		26				
1	Annealing 1	22	25,20	1,33	4,66E-07	5,32E-07
2		27				
3		29				
4		25				
5		23				
1	Annealing 2	32	27,40	1,44	5,99E-07	5,32E-07
2		33				
3		28				
4		24				
5		20				
1	Quenching 1	22	28,40	1,49	6,669E-07	4,927E-07
2		24				
3		30				
4		31				
5		35				
1	Quenching 2	21	22,20	1,17	3,185E-07	4,927E-07
2		20				
3		23				
4		23				
5		24				

Hasil perhitungan Keausan CANS dan Aluminium Alloy dapat digambar seperti gambar 45.

Jika dilihat dari gambar 45, perbedaan antar Can-NHT (Kaleng minuman yang tidak mendapat NHT -non heat treatment/perlakuan panas) dibandingkan dengan AA-NHT (Aluminium Alloy-Paduan Aluminium) yang tidak mendapatkan perlakuan panas, nilai laju keausan keduanya tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Melihat pola kedua kelompok material tersebut terdapat kesamaan, yaitu terjadi kenaikan laju keausan bila diberi perlakuan panas Anil, dan ini lebih besar nilainya daripada mendapat perlakuan panas quench. Laju keausan

Can-NHT adalah sebesar $3,59 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$ meningkat menjadi $4,60 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$ dan untuk perlakuan panas quench, nilai laju keausannya sebesar $4,12 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$.



Gambar 45: Laju Keausan

Sedangkan untuk sampel AA-NHT mempunyai nilai laju keausan sebesar $3,87 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$ yang meningkat setelah mendapat perlakuan panas anil, sebesar $5,32 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$ dan menjadi $4,9 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$ setelah diberikan perlakuan panas quench. Dari kedua pola ini terlihat bahwa proses perlakuan panas anil telah memberikan kontribusi yang cukup baik, dimana telah terjadi proses teraturnya butiran-butiran logam, sehingga beberapa unsur pepadu dalam logam aluminium ini telah berfungsi dengan baik, yaitu menaikkan laju keausan, namun berbanding terbalik dengan melunaknya material. Diperkirakan temperatur yang tidak belum sesuai dan waktu tahan 1 jam untuk aniling tidak mencukupinya material menjadi lunak. Untuk proses perlakuan panas quench yang diberikan kepada kedua macam aluminium ini

telah menunjukkan kenaikan nilai laju keausan, dan hasil ini telah menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan kekerasan pada bagian permukaan material yang menghambat laju goresan uji keausan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada proses quench ini, yaitu pada temperatur 400 °C dan waktu tahan selama 1 (satu) jam telah cukup meningkatkan laju keausan.

Contoh Kasus Hasil Penelitian Lainnya

Pengujian komposisi kimia lainnya dari hasil pengecoran aluminium dari beberapa hasil penelitian telah dirangkum dalam tulisan (Nukman *et al.*, 2017). Berbagai material aluminium bekas telah dilebur dan diuji sifat mekanik dan uji komposisinya. Macam material tersebut antara lain, kaleng minuman, velg (rim) kendaraan motor, kabel, alat masak dan element listrik setrika. Material-material dilebur dengan cara tidak langsung (*crucible furnace*) dan langsung (*furnace fire*) dengan bermacam bahan bahan bakar antara lain pelumas bekas, arang kayu gelam, campuran solar dan kerosen, batubara sub-bituminus dan campuran kokas dan arang kayu gelam. Kodifikasi material riset seperti pada tabel 18 (Nukman *et al.*, 2017).

Tabel 18: Kodifikasi Sampel

Codificati on of Raw Materials	Types of Aluminum Waste	Fuels		Type Combustio n
		Types and Mixes	Calorific Value (kcal/kg)	
A	Rim + Beverage cans			
B	Beverage cans			Furnace
C	Cable, Electric Iron Element, Beverage cans, Cooking ware, Rim	Used Lubricating Oil	10.780	Fire
D	Beverage cans	Gelam Wood Charcoal	6.886	
E	Beverage cans	Gelam Wood Charcoal + Cokes	6.569	Crucible Furnace
F	Cable, Electric Iron Element, Beverage cans, Cooking ware, Rim	Solar + Kerosen	10.595	
G	Rim + Cooking ware	Sub-Bituminous Coal	6.453	

Material-material tersebut setelah dilebur, dituang kedalam tiga bentuk cetakan. Dari beberapa balok tersebut diambil sebagian kecil dan dilakukan pengujian komposisi unsur kimia dengan menggunakan alat XRF analyzer spectrometry, hasilnya dapat dilihat pada tabel 19. Tidak terdapat hubungan langsung antara campuran material yang dilebur, nilai kalori bahan bakar, unsur kimia hasil coran.

Dari hasil uji komposisi kimia dapat dilihat persentase unsur yang ada didalam coran masing-masing tungku. Pada tabel 19 persentase semua unsur apabila dijumlahkan tidak mencapai 100% karena masih adanya pengaruh dari beberapa pengotor yang antara lain berasal dari cat pewarna kaleng minuman, cat pewarna *velg* sepeda motor serta pengotor-pengotor (impuritis) lainnya.

Tabel 19. Komposisi Kimia hasil Coran

Raw	The Chemical composition (%)								
Materials	Al	Pb	Zn	Ni	Cu	Fe	Mn	Cr	Sn
A	98.799	0.04	0.335		0.357	0.466			
B	98.416		0.23		0.468	0.355	0.417		
C	94.215	0.133	2.868	0.088	1.449	0.891		0.073	0.032
D	97.336	0.058	0.789		0.518	0.798	0.331	0.061	
E	95.393		0.227		0.396	3.451	0.511		
F	93.943	0.094	1.456	0.099	1.946	2.017	0.208	0.121	0.036
G	96.117	0.107	1.61		1.22	0.826			

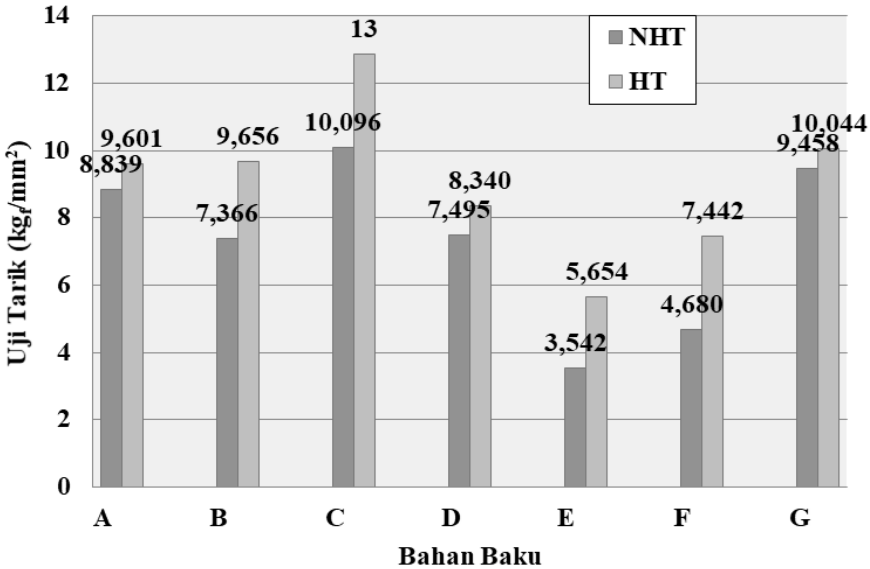
Uji Sifat Mekanik (Nukman *et al.*, 2017)

Uji Tarik

Hasil pengujian tarik, dapat dibuat dalam bentuk grafik uji tarik untuk berbagai kodifikasi sampel. Sampel dibuat sesuai standar JIS Z 2201. Pengujian dilakukan terhadap sampel yang diberi perlakuan panas dan dibandingkan dengan yang tidak menerima. Nilai uji tarik terendah adalah 3,542 kg/mm² untuk sampel E. Sampel dengan perlakuan panas, telah meningkat nilai uji tariknya menjadi 5,654 kg/mm² (lihat gambar 46). Perlakuan panas annealing mengakibatkan butir atom menjadi teratur dan

struktur baru yang lebih kuat dan bila hasil perlakuan panas ini dibandingkan sampel F, maka terlihat bahwa nilai uji tariknya lebih rendah.

Dilihat dari pengelompokan bahan baku aluminium kaleng minuman yang dilebur, maka dengan menggunakan tungku api, pelumas bekas (sampel B) mempunyai nilai uji tarik yang lebih besar dibandingkan dengan cara peleburan berbahan bakar lainnya dengan menggunakan tungku krusibel. Dalam hal ini dapat dipahami, bahwa dengan menggunakan tungku api, api tersebut telah membakar sebagian besar kotoran yang menempel pada permukaan kaleng seperti pernis, tinta dsbnya. Juga diperkirakan beberapa unsur kimia material telah terbakar, sehingga menaikkan kemurnian logam coran aluminium bekas.



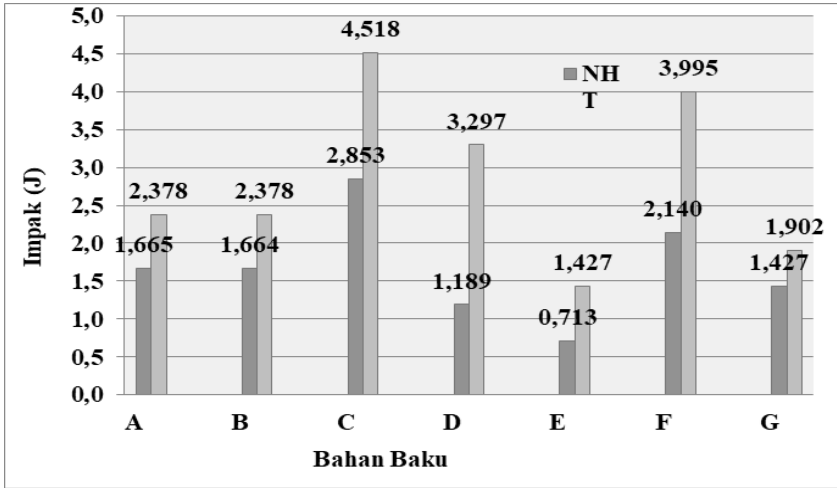
Gambar 46: Grafik Uji Tarik dari Bahan Baku yang Dipanaskan dan Tanpa Pemanasan.

Untuk memanfaatkan limbah aluminium bekas dengan cara daur ulang yang mempunyai nilai uji tarik terbesar, maka sampel C mempunyai nilai uji tarik terbesar yaitu 10,096 kg/mm². Rendahnya kekuatan tarik dari beberapa sampel telah mengurangi kemampuan tarik aluminium diakibatkan terdapatnya unsur kandungan unsur Fe yang cukup besar (Taylor, 2016).

Uji Impak

Untuk mengetahui seberapa besar kemampuan material dapat menerima beban kejut maka dilakukan uji Impak. Beban yang diberikan dengan cara menjatuhkan bobot beban secara tiba-tiba terhadap sampel hingga putus. Sampel uji hasil pengecoran baik yang telah diberikan perlakuan panas atau tanpa perlakuan panas mengacu pada JIS Z 2202.

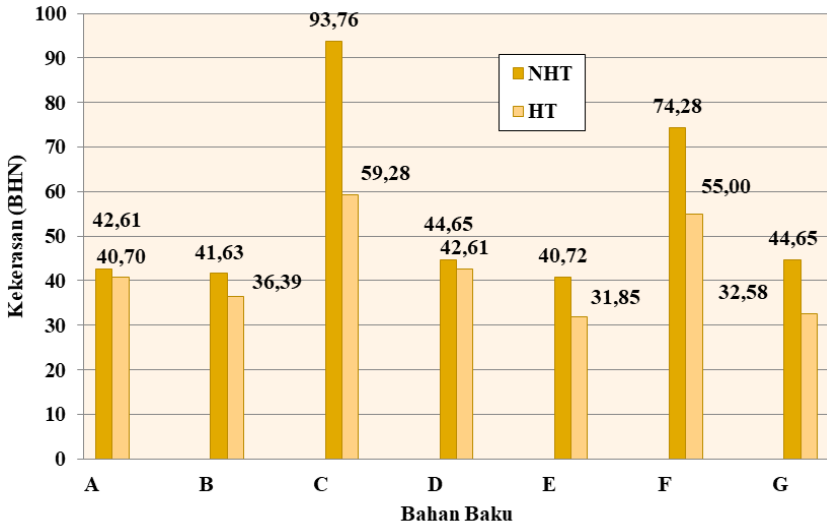
Hasil pengukuran beban kejut ini dapat dilihat pada gambar 47. Sampel dibedakan dalam dua perlakuan yaitu dipanaskan dan tanpa perlakuan panas. Nilai terendah uji impak yaitu sebesar 0,713 Joule, terdapat pada sampel E. Sementara yang nilai uji terbesar adalah 2,853 Joule, dari hasil pengujian sampel C. Bila dibandingkan, maka sampel B mempunyai nilai Impak yang besar, yaitu 1,664 Joule, dibandingkan dengan sampel E. Memperhatikan grafik nilai Impak ini maka dapat diperhitungkan adanya kenaikan nilai impak bilamana terhadap sampel dilakukan perlakuan panas. Peningkatan nilai impak maksimum akibat perlakuan panas ini terdapat pada sampel D. Kenaikan ini terjadi karena adanya beberapa unsur kimia yang mengalami penurunan persentase akibat pemanasan temperatur tinggi. Sehingga berpengaruh sangat signifikan dalam nilai impak (Nukman *et al.*, 2017).



Gambar 47: Grafik Uji Impak dari Bahan Baku yang Dipanaskan dan Tanpa Pemanasan.

Nilai Uji Kekerasan

Dari gambar 48 dapat dilihat bahan kaleng minuman (sampel-sampel B, D dan E) mempunyai nilai kekerasan terendah. Sedangkan nilai kekerasan terbesar yaitu pada sampel C. Perlakuan panas yang dilakukan memberikan pengaruh yang jelas yaitu berupa penurunan nilai kekerasan. Bahan kabel, elemen strikkan, kaleng minuman, alat masak, vleg (rim) yang dilebur dengan tungku krusibel dan dibuat sampel F (JIS B 7724), mengalami penurunan nilai kekerasan sebesar 36,78% setelah menerima perlakuan panas.



Gambar 48: Grafik Uji Kekerasan dari Bahan Baku yang Dipanaskan dan Tanpa Pemanasan.

Penurunan nilai kekerasan untuk sampel yang mendapat perlakuan panas adalah hal yang merugikan, namun sebaliknya hal ini menguntungkan dari segi struktur mikronya, karena susunan butir atom menjadi lebih teratur. Perlakuan panas annealing dengan waktu tahan selama 2 jam telah menjadikan sampel lebih baik dari segi nilai uji tarik dan nilai uji impak (Nukman *et al.*, 2017).

Hasil coran dengan kadar Tembaga (Cu) yang tinggi telah meningkatkan nilai kekerasan dan ini sesuai dengan (Totten and D Scott MacKenzie, 2003), Cu dapat meningkatkan kekerasan bahan paduan aluminium.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses perlakuan panas meningkatkan nilai kekerasan, dimana nilai kekerasan tertinggi terdapat pada sampel uji yang di *aging* selama 3 jam yaitu sebesar $45,727 \text{ kgf/mm}^2$.
2. Pada Pengujian impak, harga impak berbanding terbalik terhadap nilai kekerasan, dimana harga impak tertinggi terdapat pada sampel uji *non heattreatment* yaitu sebesar $0,0077265 \text{ J/mm}^2$.
3. Pada Pengujian tarik hasil nilai kekuatan tarik berbanding lurus dengan persentase regangan, dimana semakin besar nilai kekuatan tarik maka semakin besar pula nilai persentase regangannya. Untuk nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada proses *aging* selama 3 jam yaitu sebesar $132,7787 \text{ N/mm}^2$.

Dalam salahsatu pembahasan, skrap aluminium sisa etalase merupakan bahan utama yang digunakan dalam penelitian. Pemilihan bahan skrap aluminium sebagai bahan utama dikarenakan material ini merupakan limbah sisa manufaktur yang tidak dipakai lagi, Selain itu sifat dasar dari aluminium murni yaitu mempunyai sifat mampu cor yang baik tetapi memiliki sifat mekanik yang kurang baik. Oleh karena itu dibutuhkan suatu perbaikan pada sifat mekanik, salah satu caranya yaitu dengan pengecoran ulang dan memberikan perlakuan panas pada aluminium seperti tahapan *age hardening* dengan variasi waktu *aging*.

Dari serangkaian tahapan yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain sebagai berikut:

1. Bahan utama yaitu limbah aluminium skrap lalu di cor ulang menggunakan cetakan logam yang dibuat sendiri menggunakan bahan utamanya yaitu aluminium skrap tersebut. Setelah di uji komposisi kimia diketahui bahwa aluminium skrap termasuk aluminium bertipe Al6061 dengan kandungan Al sebesar 98,73%.
2. *Heat Treatment* digunakan sebagai pembanding antara sampel *Non Heat Treatment* dengan sampel *Heat Treatment*. *Heat Treatment* yang digunakan adalah tahapan *age hardening* yang dimulai dengan *solution treatment* pada temperatur 540°C selama 2 jam kemudian di *quenching* kedalam air selama 15 detik dan diakhiri dengan *artificial aging* pada temperatur 175°C selama 2, 3, dan 4 jam.
3. Dari pengujian kekerasan yang dilakukan nilai rata-rata Σ BHN setiap sampel terus cenderung mengalami peningkatan apabila diberi *Heat Treatment*, dengan nilai rata-rata Σ BHN tertinggi terdapat pada sampel yang *diaging* selama 4 jam yaitu sebesar 52,2730 Kg_f/mm² = 512,79 Pa sedangkan nilai rata-rata Σ BHN terendah terdapat pada sampel *Non Heat Treatment* yaitu sebesar 49,5667 kg_f/mm² = 486,25 Pa.
4. Dari pengujian dampak yang dilakukan nilai rata-rata harga dampak (Σ HI) setiap sampel terus mengalami penurunan apabila diberi *Heat Treatment*, rata-rata harga dampak Σ HI terbesar terdapat pada sampel non heat treatment yaitu sebesar 0,13063 J/mm² dan dari penurunan rata-rata harga dampak Σ HI, Σ HI terkecil terdapat pada sampel yang *diaging* selama 4 jam yaitu sebesar 0,07133 J/mm².

5. Dari hasil pengujian tarik dapat dilihat bahwa nilai σ_u dan σ_f tertinggi terdapat pada sampel uji yang mendapat *aging* 4 jam yaitu sebesar 167,492 MPa dan 137,055 MPa dan nilai σ_u dan σ_f terendah terdapat pada sampel uji yang mendapat *aging* 2 jam yaitu sebesar 126,378 MPa dan 88,774 MPa. Nilai e tertinggi terdapat pada sampel uji yang mendapat *aging* 4 jam yaitu sebesar 14,67%, sedangkan untuk nilai e terendah terdapat pada sampel uji *non heat treatment* yaitu sebesar 12%.

Selain daripada itu, untuk pengecoran aluminium kaleng bekas minuman dengan diberi perlakuan panas quenching air dan annealing pada suhu yang berbeda yaitu 400oC dan 415OC serta yang tidak diberi perlakuan panas. dapat diberi kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan perlakuan panas annealing cenderung menurun pada pengujian kekerasan dari tidak diberi perlakuan panas sedangkan perlakuan panas quenching lebih meningkat.
2. Proses pengujian keausan Annealing merupakan tingkat tertinggi keausannya.
3. Pada perlakuan panas quenching media air, merupakan perlakuan panas yang optimal, dimana pada perlakuan panas tersebut memiliki nilai kekerasan, keausan, yang baik.
4. Kekerasan quenching lebih besar dari pada hasil kekerasan anneling. Namun bila dibandingkan dengan keausan, Untuk nilai keausan lebih rendah hal ini dapat dipahami, Karena Quenching keausan hanya menyentuh kulit yang tergesek pada permukaan logam aluminium cor. Sedangkan

Annealing kekerasan lebih meninggal kan jejak penekanan yang kedalam pada permukaan aluminium cor.

Kemudian daripadanya, yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perlakuan panas annealing dan quenching dapat menurunkan tegangan ultimate dan tegangan fracture, tetapi perlakuan panas annealing dan quenching menambah perpanjangan pada hasil peleburan aluminium.
2. Pada pengujian Impak, terjadi peningkatan nilai energi impak (E) setelah dilakukan proses perlakuan panas annealing pada hasil peleburan aluminium. Presentase nilai energi impak rata-rata naik sebesar 50,02%, sedangkan pada proses quenching nilai energi impak mengalami penurunan dibandingkan dengan energi impak yang dihasilkan spesimen tanpa perlakuan panas.
3. Pada proses perlakuan panas antara annealing dan quenching dengan penahan waktu yang sama terdapat perbedaan nilai sifat mekanik, namun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan.
4. Jika dibandingkan nilai sifat mekanik pada aluminium hasil peleburan (AA 3003) dan AA 6061 sangat jauh berbeda, pada pengujian Tarik nilai tegangan ultimate, tegangan fracture, dan regangan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan AA 3003. Hal serupa juga terjadi pada nilai energi impak rata-rata AA 6061 lebih tinggi daripada AA 3003.

Berdasarkan hasil penelitian TGA terhadap aluminium kaleng bekas pengecoran Plaju, Plaju-Indralaya, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Energi aktivasi yang diperlukan untuk oksidasi pada pengecoran Plaju dengan temperatur 450 - 650°C lebih kecil ramp 5 dari pada ramp 10, yaitu $E=28,4338$ J/mol untuk dan $E= 34,5529$ J/mol.
2. Pada poin satu terbukti bahwa terjadinya peningkatan oksidasi lebih cepat ramp 10 seiring bertambahnya temperatur 450 - 650°C mulai terjadinya penambahan massa dikarenakan oksidasi pada aluminium.
3. Energi aktivasi yang diperlukan untuk oksidasi pada pengecoran Plaju-Indralaya dengan temperature 450 - 650°C lebih kecil ramp 5 dari pada ramp 10, yaitu $E=21,3670$ /mol untuk dan $E= 35,7668$ J/mol.
4. Pada pengecoran tidak langsung (plaju) lebih besar energi aktivasi yang dibutuhkan dibandingkan dengan pengecoran tidak langsung (plaju-Indralaya).
5. Berdasarkan perhitungan Energi Aktivasi untuk terjadinya oksidasi pada temperatur 400 - 600°C belum terjadi bahkan minus dikarenakan masih adanya penurunan massa pada temperatur tersebut. Apabila mengacu pada temperatur 450 - 650°C maka hasilnya cukup baik dan sudah terjadinya peningkatan massa karena oksidasi.
6. Bila memakai temperatur diatas 650°C keatas maka material sudah melewati batas titik cair aluminium dan peningkatan massa juga sudah sangat jauh pertahapnya dikarena kan material sudah mencair.

Untuk Sifat Fisik Limbah Minyak Pelumas Bekas Yang Dicampur Dengan Kerosen menunjukkan bahwa penyaringan

dengan sistem filtrasi ini adalah cara termudah dalam mendapatkan bahan bakar untuk pencairan limbah logam dengan titik cair bertemperatur rendah. Terjadi penurunan nilai-nilai sifat fisik setelah minyak pelumas hasil filtrasi dicampur dengan kerosen. Namun penurunan ini tidak berpengaruh banyak, sehingga tujuan dari penelitian ini sebenarnya telah tercapai yaitu mendapatkan bahan bakar yang akan sesuai dengan rancangan burner pembakar bahan bakar, dengan cara memudahkan pelumas bekas “bersih” dari kotoran melalui pipa suplai dan nozel dari burner.

Sedangkan untuk Temperatur Nyala Api Campuran Antara Minyak Pelumas Bekas Yang Dicampur Dengan Kerosen Yang Diukur Pada Burner Sederhana Untuk Peleburan Aluminium Bekas, telah berhasil dibuat suatu sistem pemipaan sederhana untuk pencampuran bahan bakar minyak pelumas bekas yang dicampur dengan kerosen. Padamana tidak terjadi hambatan kekentalan karena akibat pencampuran kedua jenis minyak tersebut. Telah didapat temperatur yang sesuai untuk peleburan aluminium. Temperatur ini dapat dijaga kestabilannya dengan mengatur bukaan udara masuk pada blower.

Untuk Perbandingan Sifat Mekanik Dari Sampel Hasil Peleburan Aluminium Kaleng Minuman Bekas Yang Dicairkan Didalam Krusibel Berbahan Bakar Pelumas Bekas Dengan Pemanasan Langsung Dan Tidak Langsung, aluminium kaleng minuman yang dicairkan dari dapur pembakaran langsung dan dapur pembakaran tidak langsung, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Unsur Fe yang tinggi membuat spesimen pada dapur pembakaran tidak langsung menjadi lebih getas sedangkan pada spesimen dapur pembakaran langsung menjadi lebih ulet.

2. Terjadi penurunan nilai kekerasan pada spesimen dapur pembakaran langsung, sedangkan pada spesimen dapur pembakaran tidak langsung terjadi peningkatan nilai kekerasan.
3. Terjadi penurunan nilai tegangan *ultimate* dan nilai tegangan *fracture* pada spesimen dapur pembakaran langsung, sedangkan terjadi peningkatan nilai tegangan *ultimate* dan nilai tegangan *fracture* pada spesimen dapur pembakaran tidak langsung. Tetapi pada regangan untuk spesimen dapur pembakaran langsung mengalami peningkatan sedangkan pada spesimen dapur pembakaran langsung terjadi penurunan.
4. Dapat disimpulkan bahwa aluminium yang dilebur menggunakan dapur pembakaran tidak langsung memiliki kemampuan untuk menghasilkan kualitas coran yang sedikit lebih baik daripada dapur pembakaran langsung sehingga membuat sifat mekaniknya mengalami peningkatan meskipun tidak terlalu signifikan.

Sedangkan Pengaruh dari perlakuan panas pada pengecoran ulang kaleng minuman terhadap sifat –sifat mekanis adapt dibuat kesimpulan sebagai berikut: setelah melakukan pengujian seperti uji komposisi kimia, pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian impak, bahwa:

1. Pada uji komposisi kimia material coran aluminium daur ulang dari bahan kaleng minuman bekas *coca-cola company* menunjukkan material tersebut adalah paduan aluminium Al-Si dengan kandungan unsur Fe yang cukup besar dan adanya unsur Pb yang diperkirakan didapat dari

pembakaran pelumas bekas yang dijadikan bahan bakar yang secara langsung melebur material aluminium.

2. Pada pengujian tarik bahwa nilai Tensile strength terbesar terdapat pada sampel yang di *quenching* pengecoran I yaitu sebesar 11,504 kg/mm², dan nilai terkecil terdapat pada sampel tanpa perlakuan panas pengecoran 2 yaitu sebesar 8,677 kg/mm². Nilai strain terbesar terdapat pada sampel tanpa perlakuan panas pengecoran II yaitu sebesar 3%, sedangkan nilai terkecil terdapat pada sampel yang di *quenching* pengecoran I yaitu sebesar 1,6 %. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akibat pembakaran pelumas bekas yang disemprotkan terhadap material aluminium kaleng bekas minuman telah menunjukkan kenaikan tensile strength dan strain bilamana material hasil leburan I dilebur ulang II (Remelting).
3. Pada pengujian kekerasan dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada sampel di *quenching* pengecoran II yaitu sebesar 101,86 BHN, sedangkan nilai kekerasan terendah terdapat pada sampel yang tanpa perlakuan panas pengecoran II yaitu sebesar 59,74 BHN.
4. Pada pengujian impak dapat dilihat bahwa harga impak terbesar terdapat pada sampel di *quenching* pengecoran I yaitu sebesar 0.0383 J/mm², sedangkan terkecil terdapat pada sampel yang tanpa perlakuan panas pengecoran II yaitu sebesar 0.0175 J/mm².

Dari pembahasan simulasi distribusi temperatur pada tungku peleburan aluminium dengan menggunakan software Autodesk Simulation Mechanical 2016, Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah

1. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan didapat bahwa material *graphite* dan *silicon carbide* dapat digunakan untuk krusibel tungku peleburan aluminium karena dari hasil simulasi kedua material ini dapat memiliki temperatur maksimum melebihi temperatur lebur aluminium.
2. Berdasarkan dari hasil simulasi didapat bahwa *range temperature* pada krusibel dengan material *graphite* lebih tinggi dengan nilai 896°-991 °C dibandingkan dengan krusibel material *silicon carbide* yang memiliki nilai 845°-938 °C.

Untuk besaran energi aktivasi dari oksidasi hasil pengecoran aluminium kaleng minimum yang mendapat perlakuan panas quenching dan annealing, berdasarkan hasil penelitian TGA terhadap aluminium kaleng bekas pengecoran dengan sampel non heat treatment, quenching, annealing:

1. Energi aktivasi yang diperlukan untuk oksidasi dari hasil pengecoran aluminium dengan temperatur 450 - 650°C yaitu untuk non heat treatment $E = 30,137$ kJ/mol, untuk sampel dengan heat treatment quenching, $E = 23,537$ kJ/mol serta untuk sampel yang mendapat heat treatment Annealing, $E = 28,373$ kJ/mol.
2. Pada poin satu terbukti bahwa terjadinya peningkatan oksidasi lebih cepat ramp 10 seiring bertambahnya temperatur 450 - 650°C mulai terjadinya penambahan massa dikarenakan oksidasi pada aluminium.
3. Berdasarkan perhitungan Energi Aktivasi untuk terjadinya oksidasi pada temperatur 400 - 600°C belum terjadi bahkan minus dikarenakan masih adanya penurunan massa pada

temperatur tersebut. Apabila mengacu pada temperatur 450 - 650°C maka hasilnya cukup baik dan sudah terjadinya peningkatan massa karena oksidasi.

4. Bila memakai temperatur diatas 650°C ke atas maka material sudah melewati batas titik cair aluminium dan peningkatan massa juga sudah sangat jauh pertahapnya dikarena kan material sudah mencair.

Untuk bahasan pengaruh penambahan pelumas bekas pada aluminium kaleng menuan yang ditinjau dari nilai kekerasannya menyimpulkan bahwa hasil pengecoran dan pengecoran biasa dengan penambahan pelumas bekas memiliki nilai kekerasan yang berbeda. Dapat disimpulkan bahwa penambahan pelumas bekas telah meningkatkan unsur Pb yang diperkirakan diperoleh dari pembakaran pelumas bekas, dan meningkatkan unsur Fe pada kandungan sampel aluminium akibat penggunaan tabung silinder baja sebagai cetakannya. Di sisi lain, penambahan pelumas bekas yang berlebih pada tabung silinder telah menurunkan nilai kekerasan sampel akibat penambahan unsur Cu dan Fe dari pelumas bekas yang dibakar. Penurunan kekerasan pada sampel yang diberi sampel 12 ml, diperkirakan akibat arus api yang berlawanan menuju cairan aluminium yang dialirkan ke dalam tabung silinder.

Sedangkan untuk penuaan terhadap kekerasan kaleng minuman aluminium dengan penambahan pelumas bekas, Analisis yang dilakukan menyimpulkan bahwa perbedaan waktu penuaan kaleng minuman aluminium dengan penambahan 6 ml dan 12 ml pelumas bekas dan tanpa pelumas bekas akan meningkatkan kekerasan dengan bertambahnya waktu, dan menurun kembali setelah 3 jam waktu pemeraman, meskipun Waktu penuaan 5 jam penurunannya sepertinya tidak terlalu signifikan. Serta variasi penambahan 6 ml, pelumas bekas 12 ml menunjukkan pengaruh

terhadap nilai hasil uji kekerasan yang diperoleh selama lama waktu pemeraman yang dilakukan. Maka dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa waktu pemeraman maksimal untuk meningkatkan kekerasan kaleng minuman aluminium dengan dan tanpa penambahan pelumas bekas adalah 3 jam. Dengan penambahan pelumas bekas, kekerasan material aluminium mengalami penurunan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Para penulis mengucapkan terimakasih kepada para mahasiswa bimbingan yang telah banyak membantu dalam penelitian ini, juga disampaikan kepada para laboran di fakultas Teknik Universitas Sriwijaya serta di PT PUSRI yang telah memberi kesempatan untuk uji komposisi material. Terimakasih sebesar-besarnya kepada Universitas Sriwijaya yang telah membiayai pembuatan buku ini. Buku ini merupakan rangkuman 2 (dua) tahun penelitian skema Profesi dengan nomor kontrak: 987/UN9.3.1/PP/2017 dan 0109.10/UN9/SB3.LP2M.PT/2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Aipon (2014) *Perbandingan Sifat Mekanik Hasil Coran Gabungan Aluminium Bekas Velg Sepeda Motor dan Alat Masak yang Diperlakukan Panas dan Tanpa Perlakuan Panas*. Universitas Sriwijaya.
- AlSaffar, K. A. and Bdeir, L. M. H. (2008) 'Recycling of Aluminum Beverage Cans', *Journal of Engineering and Development*, 12(3), pp. 157–163.
- Arifta, P. and Nukman (2016) *Analisa umur patah material hasil Pengcoran Aluminium daur ulang kaleng minuman bekas pada sudut puntir 10, 20, dan 30*. Universitas Sriwijaya.
- Askeland, D. R., Fulay, P. P. and Wright, W. J. (2011) *The Science and Engineering of Materials*. Sixth. Stamford, CT 06902: Cengage Learning, Inc.
- Budynas–Nisbett (2005) *Mechanical Engineering*. Eight. McGraw–Hill.
- Dieter, G. (1984) *Mechanical Metalurgy*. New York: Mc. Graw Hill Book Co.
- Durrani, H. a L. I., Panhwar, M. I. and Kazi, R. A. (2011) 'Re-Refining of Waste Lubricating Oil by Solvent Extraction', *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 30(2), pp. 237–246.
- Firdaus MS *et al.* (2019) 'The Effect of Heat Treatment on Fatigue Testing of Aluminum Cans The Effect of Heat Treatment on Fatigue Testing of Aluminum Cans', in *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf.* doi: 10.1088/1742-6596/1198/7/072002.
- Groover, M. P. (2010) *Fundamentals of Modern Manufacturing- Materials, Processes, and Systems*. Fourth. JohnWiley & Sons, Inc.

- Imam, M. F. I. A., Rahman, M. S. and Khan, M. Z. H. (2015) 'Influence of Heat Treatment on Fatigue and Fracture Behaviour of Aluminium Alloy', *Journal of Engineering Science and Technology*, 10(6), pp. 730–742.
- Indo, R. and Nukman (2019) 'Decomposition of Polyvinyl Chloride , Polypropylene and Melamine using Thermogravimetric Analyzer', *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(21), pp. 3619–3625. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2019/jeas_1119_7973.pdf.
- Indonesia, M. N. L. H. R. (2012) *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2012 Tentang Pedoman Pelaksanaan Reduce, Reuse, Dan Recycle Melalui Bank Sampah, Kementerian Lingkungan Hidup*.
- Jhanani. S and Kurian Joseph (2011) 'Used oil generation and management in the automotive industries', *International Journal of Environmental Sciences*, 2(2), pp. 638–648.
- JIS (1983) *Non-Ferrous Metals and Metallurgy - Japanese Standards Association*.
- Kaufman, J. G. and Rooy, E. L. (2004) *Castings Properties , Processes , and Applications*.
- Liu, Y. and Xiong, T. (2011) 'Surface Nanostructure of Annealed 40Cr Steel by Supersonic Particles Bombarding treatment', 688, pp. 291–295. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.688.291.
- Maisonnette, D. *et al.* (2011) 'Effects of heat treatments on the microstructure and mechanical properties of a 6061 aluminium alloy', *Materials Science and Engineering A*. Elsevier B.V., 528(6), pp. 2718–2724. doi: 10.1016/j.msea.2010.12.011.
- Manasomboonphan, W. and Junyapoon, S. (2012) 'Production of Liquid Fuels from Waste Lube Oils Used by Pyrolysis

- process', 34, pp. 4–7.
- MS, F. *et al.* (2019) 'The Effect of Heat Treatment on Fatigue Testing of Aluminum Cans The Effect of Heat Treatment on Fatigue Testing of Aluminum Cans'. doi: 10.1088/1742-6596/1198/7/072002.
- Mulyadi, S., Basa, D. and Halawa, F. (2015) 'Karakterisasi Sifat Mekanis Kaleng Minuman (Larutan Lasegar, Pocari Sweat dan Cocal Cola)', in *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2015*, pp. 183–186.
- Naima, K., Liazid, A. and Mnaouer, B. P. El (2013) 'Waste oils as alternative fuel for diesel engine : A review', 4(March), pp. 30–43. doi: 10.5897/JPTAF12.026.
- Nicolaescu, I. V., Tardos, G. and Riman, R. E. (1994) 'Thermogravimetric Determination of Carbon, Nitrogen, and Oxygen in Aluminum Nitride', *Journal of the American Ceramic Society*, 77(9), pp. 2265–2272. doi: 10.1111/j.1151-2916.1994.tb04592.x.
- Nukman; Sipahutar, Riman; Arief, T. (2015) 'Nilai kalori dari campuran minyak pelumas bekas dan kerosene', in *Seminar Nasional Added Value of Energy Resources (AVoER) Ke-7*. Palembang: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, pp. 164–167.
- Nukman (2008) 'The Decompositioning of Volatile-Matter of Tanjung Enim Coal by using Thermogravimetry Analyzer (TGA)', *Makara Journal of Technology*, 12(2), pp. 65–69. doi: 10.7454/mst.v12i2.509.
- Nukman, Lako, Andi Kurniawan, *et al.* (2016) 'Perbandingan Sifat Mekanik dari Sampel Hasil Peleburan Aluminium Kaleng Minuman Bekas yang Dicairkan Didalam Krusibel Berbahan Bakar Pelumas Bekas dengan Pemanasan Langsung dan Tidak Langsung', in *Prosiding Seminar Nasional AVoER 8 2016*. Palembang: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, pp. 825–837.

- Nukman, Lako, Andi Kirniawan, *et al.* (2016) ‘Prosiding seminar nasional avoer 8’, in *Prosiding Seminar Nasional Avoer 8 Applicable Innovation of Engineering and Science Researches 19-20 Oktober 2016 Palembang, Indonesia*. Palembang: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, pp. 825–837. Available at: <http://avoer.ft.unsri.ac.id/index.php/page/12>.
- Nukman *et al.* (2017) ‘Mechanical properties of castings aluminium waste which is smelted in simple furnace with a variety of fuels’, *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 40(4), pp. 692–698. doi: 10.7508/jmerd.2017.04.016.
- Nukman, Yani, I., Arifin, A., Ms, F., *et al.* (2018) ‘Oxidation of Beverage cans in the Temperature Range 400-610 oC’, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(24), pp. 9741–9745.
- Nukman, Yani, I., Arifin, A. and Ms, F. (2018) ‘Oxidation of Beverage cans in the Temperature Range 400-610oC’, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(24), pp. 9741–9745. Available at: http://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_1218_7514.pdf.
- Nukman, Sipahutar, R., *et al.* (2018) ‘Used Lubricating Oil as a Fuel for Smeslting Waste Aluminium’, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(10), pp. 3412–3417. Available at: http://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_0518_7080.pdf.
- Nukman and Irawan, D. (2019) ‘Perbandingan Sifat Mekanik dari Sampel Hasil Peleburan Aluminium Kaleng Minuman Bekas yang Kaleng Minuman Aluminium yang Di Lebur Bakar Oli Bekas dan Mendapat Perlakuan Panas’, *in progress*, pp. 1–12.
- Pemerintah Republik Indonesia (2008) *Undang-undang Republik Indonesia No. 18 tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah*.

- Pemerintah Republik Indonesia (2009) *Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Prasaji, R., U, P. C. D. and Santosa, H. (2013) ‘Pemanfaatan Kombinasi Fly Ash Batubara, Alkilbenzenesulfonat, dan Zeolit Pada Penjernihan Minyak Pelumas Bekas Dengan Metode Penjerapan’, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(4), pp. 1–7.
- Rooy Elwin L. (1995) ‘Introduction to Aluminum and Aluminum Alloys’, in *ASM Handbook Vol 2*. ASM International, pp. 29–38.
- Sarada, B. N., Murthy, P. L. S. and Ramani, S. (2016) ‘Effect of Quenching Media on The Mechanical Properties of Al 6061-TiO₂ Metal Matrix Composite’, 3(5), pp. 33–41.
- Schmitz, C. (2007) *Handbook of Aluminium Recycling*. Missouri: CRC Press.
- Smeltzer, W. W. (1956) ‘Oxidation of Aluminum in the Temperature Range 400o-600oC’, *Journal of the Electrochemical Society*, 103(4), pp. 209–214. doi: 10.1149/1.2430279.
- Tawaf, N., Suprpto, W. and Purnowidodo, A. (2014) ‘Analisis Fatigue Failure Suhu Rendah Struktur Batang Duralumin dengan Mesin Siklus Bending’, 5(3), pp. 239–245.
- Taylor, J. A. (2016) ‘The Effect of Iron in Al-Si Casting Alloys’, in.
- Totten, G. E. and MacKenzie, D Scoot (2003) *Hand Book of Aluminum (Alloy Production and Materials Manufacturing)*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Totten, G. E. and MacKenzie, D Scott (2003) *Handbook of Aluminum Nolume 2 - Alloy Production And Materials Manufacturing, Marcel Dekker*. USA.

William D. Callister, J. and Rethwisch, D. G. (2009) *Materials Science and Engineering*. Eight. John Wiley and Sons, Inc.

Zhang, G. *et al.* (2009) 'Fuel Oil Prepared by Blending Heavy oil and Coal Tar', in *Energy and Environment Technology, ICEET '09. International Conference*. doi: 10.1109/ICEET.2009.48.

Zhorin, V. A., Kiselev, M. R. and Roldugin, V. I. (2013) 'Thermogravimetric Analysis of the Aluminum – Polypropylene Mixtures after Plastic Deformation Under High Pressure', *Russian Journal of Applied Chemistry*, 86(1), pp. 15–19. doi: 10.1134/S1070427213010047.

TENTANG PENULIS



Nukman, dosen di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Lahir di Palembang, 21 Maret 1959. Pendidikan Sekolah Dasar diselesaikan di Palembang pada SD Negeri 23 (tamat tahun 1971), dilanjutkan pada Sekolah Teknik Negeri I Palembang (tamat tahun 1974), Sekolah Teknologi Menengah Negeri I diselesaikan di Palembang tahun 1977. Pendidikan Tinggi dilakukan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya tahun 1985 dan Pendidikan Strata 2 di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia tamat tahun 1999. Pendidikan Strata 3 di Ilmu Bahan-Bahan Fakultas MIPA Universitas Indonesia tamat tahun 2007. Pada saat ini menjabat sebagai Kepala Laboratorium Material Teknik Universitas Sriwijaya dan Koordinator Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.



Irsyadi Yani, dosen jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, pendidikan Master of Engineering–Department of Mechanical Engineering–Toyohashi University of Technology–Japan, mendapatkan gelar Ph.D dari Engineering Faculty–National University of Malaysia. Aktif meneliti dan menulis karya ilmiah. Saat ini menjabat Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.



Amir Arifin, dosen jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Menempuh pendidikan Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Univeritas Sriwijaya, gelar Master of Engineering bidang Teknik Mesin didapat dari Universitas Gajah Mada, sedangkan gelar Ph D bidang ilmu Teknik Mesin didapat dari Universiti Kebangsaan Malaysia. Aktif meneliti dan produktif dalam menulis karya ilmiah. Jabatan yang diemban sekarang sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakutas Teknik Universitas Sriwijaya.



Firdaus MS, mahasiswa program doktor bidang ilmu Teknik Mesin–Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Pendidikan Sarjana kependidikan Teknik Mesin didapat dari Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sriwijaya, gelar Master Teknik Mesin diperoleh di Program Master Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

ISBN 978-979-587-852-0 (PDF)



9 789795 878520