

BESARAN ENERGI AKTIVASI DARI OKSIDASI HASIL PENGECORAN ALUMINIUM KALENG MINIMUM YANG MENDAPAT PERLAKUAN PANAS *QUENCHING* DAN *ANNEALING*

Nukman¹⁾, Muhammad Dahlan²⁾, Firdaus M. S³⁾, Irsyadi Yani⁴⁾, Amir Arifin⁵⁾
^{1,2,3,4,5)} Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Jl. Raya Palembang - Prabumulih km 32, Ogan Ilir, Sumatera Selatan, Indonesia

¹ email: nukman@ft.unsri.ac.id

² email: mdahlan440@gmail.com

Abstrak

Thermogravimetry analyzer adalah suatu alat untuk melakukan analisa thermal dimana massa bahan uji akan berbanding terbalik atau berbanding lurus dengan laju temperatur yang meningkat dan fungsi waktu (temperatur meningkat konstan). TGA biasanya digunakan untuk menentukan karakteristik material. Kurva naiknya massa material Aluminium dapat digunakan untuk mengetahui oksidasi. Titik naiknya massa material bisa digunakan untuk menghitung energi aktivasi. Penelitian ini menggunakan alat Thermogravimetry Analyzer (TGA) Exstar SII 7300 dengan 3 (tiga) sampel yang berbeda yaitu: Sampel Non Heat Treatment, Sampel Quenching, Sampel Annealing. Hasil pengujian didapatkan bahwa energi aktivasi pada keadaan temperatur 400-6500C ramp 10 pada sampel non heat treatment $E = 30,137$ kJ/mol. Pada quenching $E = 23,537$ kJ/mol. Pada annealing $E = 28,373$ kJ/mol.

Kata Kunci : Aluminium, Oksidasi, TGA, Energi aktivasi

Abstract

Thermogravimetry analyzer is a tool for performing thermal analysis in which the mass of the test material will be inversely proportional or directly proportional to the temperature rate increases and the function of time (temperature increases constantly). TGA is usually used to determine material characteristics. The curve of increasing material mass of Aluminum can be used to determine oxidation. The rising point of the material's mass can be used to calculate the activation energy. This research uses Exstar SII 7300 Thermogravimetry Analyzer (TGA) with 3 (three) different samples, namely: Non Heat Treatment Sample, Quenching Sample, Annealing Sample. The test results obtained that the activation energy at a temperature of 400-6500C ramp 10 in non-heat treatment samples $E = 30.137$ kJ / mol. At quenching $E = 23,537$ kJ / mol. At annealing $E = 28,373$ kJ / mol.

Keyword : Aluminum, Oxidation, TGA, Activation Energy

1. PENDAHULUAN

Aluminium dan paduannya merupakan logam non ferrous yang cukup luas penggunaannya, mulai dari kebutuhan rumah tangga, otomotif sampai ke pesawat terbang. Melihat ketersediaan dan kegunaan aluminium, yang saat ini sangat berpengaruh terhadap perkembangan ekonomi dunia. Namun, seiring bertambahnya jumlah penggunaan aluminium, limbah yang dihasilkan dari penggunaan aluminium ini juga terus bertambah (Suharyanto 2003). Aluminium biasa digunakan untuk peralatan rumah tangga, kusen, jendela, keperluan industri,

material pesawat terbang, komponen kendaraan bermotor, konstruksi dan lain-lain.

Seiring dengan bertambahnya kemajuan teknologi, limbah-limbah yang dihasilkan dari penggunaan aluminium dapat didaur ulang. Metode pendauran ulang yang paling sering digunakan adalah metode pengecoran/peleburan (casting). Dengan system pembakaran ini, sebagian besar kotoran yang menempel pada permukaan logam akan terbakar. Selain itu, beberapa unsur kimia telah terbakar, sehingga menaikkan kemurnian logam (Nukman, Sipahutar, and Arief 2015).

Solidifikasi dari logam aluminium adalah suatu proses pembekuan material cair menjadi padatan atau dikatakan sebagai proses komposisi. Diperlukan sejumlah energi untuk proses tersebut. Pada sisi lain dekomposisi adalah suatu proses pemisahan butiran atau atom logam dengan cara antara lain memberikan sejumlah energi kepada material tersebut. Pemisahan atom ini disebut dengan sebagai proses dekomposisi dengan menggunakan sejumlah energi aktivasi. Dengan kata lain bahwa energi aktivasi dapat juga dikatakan sebagai energi yang diperlukan untuk memisahkan atom-atom dari suatu logam.

Pada sisi lain, pemanasan pada temperatur tinggi untuk logam aluminium, akan mengakibatkan oksidasi juga. Reaksi kimia pada temperatur tinggi ini antara logam aluminium oksigen akan menghasilkan Al_2O_3 (alumina), yang merupakan lapisan tipis pada permukaan aluminium.

Pada tahun 1809, Sir Humphrey Davy menemukan Aluminium yang merupakan suatu unsur, dan kemudian pertama kali direduksi sebagai suatu logam oleh Paul Herolt di Prancis dan C.M. Hall di Amerika secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina (Surdia and Saito 1999).

Beberapa sifat yang baik dari aluminium antara lain yaitu ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Peningkatan kekuatan mekanik aluminium dapat meningkat dengan menambahkan beberapa unsur logam seperti, tembaga (Cu), magnesium (Mg), silikon (Si), mangan (Mn), seng (Zn), dan nikel (Ni). Penambahan unsur-unsur ini dapat dilakukan secara tersendiri maupun ditambahkan bersama sehingga membentuk paduan baru aluminium yang dapat memberikan beberapa sifat baik lainnya seperti, ketahanan korosi, aus, dan koefisien pemuaian rendah (Surdia and Saito 1999).

Menurut ("Capral/s Little Green Book." 2013) beberapa manfaat dan kelebihan aluminium antara lain, sifat ringan (light in weight) bahkan lebih ringan dari magnesium dengan densitas 1/3 dari densitas dari besi, daya hantar listrik yang baik sehingga menjadikannya sebagai logam yang paling ekonomis sebagai penghantar listrik (high electrical conductivity) karena massa jenisnya lebih besar dari massa jenis tembaga, tangguh pada temperatur rendah hingga $-100^{\circ}C$, tangguh pada temperatur tinggi, mudah didaur ulang yang bahkan 30% produksi aluminium di berbagai negara berasal dari aluminium yang berasal dari daur ulang, tahan terhadap korosi karena adanya lapisan pelindung alumina (Al_2O_3) dan logam aluminium tidak beracun sehingga sering digunakan dalam industri makanan seperti kaleng makanan dan minuman serta pipa-pipa penyalur pada industri makanan dan minuman.

Oleh karenanya diadakan penelitian terhadap aluminium bekas (daur ulang) agar

perubahan perilaku oksidasi material tersebut dapat dipahami yang dalam hal ini dilakukan dengan menggunakan alat Thermogravimetri Analyzer (TGA).

1.1 Bahan Kaleng Minuman Ringan

Bahan kaleng minuman ringan adalah aluminium. Logam aluminium, untuk kaleng minuman ringan terdiri dari sebagian besar aluminium, tetapi juga terdiri dari beberapa jenis logam lain. Logam lain tersebut antar lain, magnesium, mangan, baja, silikon, dan tembaga. Tutup kaleng minuman ringan terbuat dari paduan yang sedikit berbeda dari bagian dasar dan sisi dari kaleng tersebut. kaleng minuman terbuat dari dua paduan aluminium (ASTM 3004 untuk bagian badan kaleng dan ASTM 5182 untuk bagian tutup kaleng). Lihat tabel 1 yang memiliki komposisi yang berbeda (AlSaffar and Bdeir 2008). Sebagaimana menurut Surdia T dan Saito, Paduan Al-Mn dalam penamaan standar AA adalah paduan Al 3003 dan Al 3004 (Surdia and Saito 1999).

Tabel 1. Komposisi kimia paduan kaleng minuman ringan (AlSaffar and Bdeir 2008).

Alloy	Part	Weight of Elements (%)		
		Al	Mn	Mg
3004	Main body	97.8	1.2	1.0
5182	Lid	95.2	0.35	4.5

1.2 Thermogravimetri 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).

Reaksi dekomposisi adalah jenis reaksi kimia dimana senyawa tunggal terurai menjadi dua atau lebih unsur atau senyawa baru. Dekomposisi thermal adalah reaksi dekomposisi yang melibatkan sumber energi seperti panas.

Logam dan paduannya 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 bersuhu tinggi. Ketika lapisan oksidasi logam bereaksi dengan oksigen akan membentuk proses elektrokimia dan prosesnya tidak mudah untuk

menggabungkan logam dan oksigen (Smeltzer 1956).

1.3 Energi Aktivasi

Untuk mengetahui besarnya energi kinetik atau energi aktivasi yang diperlukan untuk proses oksidasi material. Pada proses oksidasi yang memakai TGA, terdapat hubungan antara berkurangnya masa aluminium akibat meningkatnya temperatur (lihat gambar 1). Bila penambahan masa adalah suatu fungsi dari temperatur pada laju pemanasan konstan (dengan laju pemanasan sebagai parameter), maka dapat diasumsikan bahwa laju oksidasi sesaat (laju kehilangan berat), refleksi dari kehilangan berat, adalah fungsi dari fraksi aluminium 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, Donald R; Fulay, Pradeep P; Wright 2011):

$$k=A-E/RT \quad (1)$$

A=faktor frekuensi atau faktor Arhenius

E=Energi aktivasi (J/mol)

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

T=Temperatur absolut (oK)

$$\ln k= \ln A-E/RT$$

atau dapat disederhanakan menjadi:

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

2. BAHAN DAN METODA

Preparasi bahan yang dilakukan meliputi pengumpulan bahan-bahan aluminium yang akan diuji, yaitu aluminium yang dicor. Bahan aluminium yang di lebur adalah kaleng minuman bekas yang diambil dari sentra pengepul barang bekas. Sejumlah sampel dan sejumlah lainnya dari logam aluminium hasil coran, diberikan perlakuan panas dan didinginkan cepat (quenching) dengan media air dan juga diikuti pemanasan aniling. Penyiapan bahan uji dengan cara dikikir atau gergaji kemudian ditempelkan kepada logam magnet agar unsur besi dari mata gergaji dapat menempel dan ditumbuk hingga menjadi spesimen siap uji. Dilakukan pengukuran komposisi unsur sampel yang kemudian ditabelkan sebagai data.

Metoda pengujian yang dilakukan dengan menghitung perubahan berat terhadap perubahan temperatur didapatkan kurva yang mengacu kepada titik pertambahan berat, oksidasi material, dan Energi aktivasi material. Alat yang digunakan untuk menganalisa dan perubahan massa suatu material terhadap perubahan temperatur adalah Thermogravimetri Analyzer (TGA). Digunakan bersama dengan TA Instrumen Controller dan Software terkait, untuk membuat sebuah sistem analisa termal. TGA mengukur jumlah dan laju perubahan massa dalam suatu material baik sebagai fungsi meningkatkan suhu, atau secara isothermal sebagai fungsi waktu, dalam tekanan atmosphere, dapat digunakan untuk mengkarakterisasi bahan apapun yang menunjukkan perubahan berat dan untuk mendeteksi perubahan fase akibat dekomposisi, dan oksidasi. Informasi ini membantu ilmuwan atau insinyur mengidentifikasi perubahan persen berat dan struktur kimia, dekomposisi, dan efisiensi material. Alat yang akan digunakan selama dalam melakukan proses penelitian ini adalah Alat DTA/TGA Exstar SII 7300.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data yang didapat disusun dan kemudian diolah untuk menganalisa energi aktivasi dan oksidasi pada aluminium hasil peleburan. Selanjutnya data hasil perhitungan disusun dalam bentuk tabel dan diolah lebih lanjut yang kemudian akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

Pengujian komposisi coran aluminium kaleng bekas dilakukan di P.T. Pupuk Sriwijaya, Palembang. Hasil pengujian komposisi unsur seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Unsur Hasil Coran

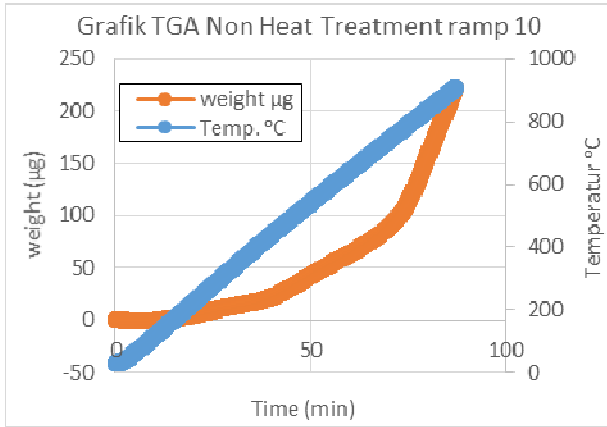
No	U n s u r	Hasil Pengujian (%)
1	Aluminium (Al)	94,98
2	Mangan (Mn)	0,867
3	Besi (Fe)	3,73
4	Tembaga (Cu)	0,195
5	Seng (Zn)	0,076

3.1 Analisa Data

Pengujian TGA untuk material aluminium ini dilakukan dengan menggunakan gas (oksigen) temperatur maksimal 900°C dan Heating rate (Ramp) konstan 10°C/menit. Temperatur pemanasan sampel di dalam TGA diamati pada temperatur 0 – 900oC. Sedangkan pengamatan dan pengukuran energi aktivasi pada kisaran temperatur 400 – 650oC. Dapat dibandingkan dengan yang dilakukan oleh (Trunov, Schoenitz, and Dreizin 2007).

3.2 Sampel Non Heat Treatment

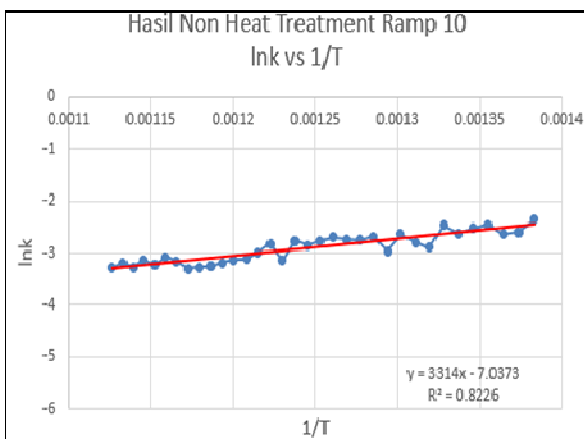
Pengujian TGA Aluminium hasil pengecoran dari kaleng bekas minuman dengan bahan bakar oli bekas selanjutnya disebut sampel non heat treatment. Gambar 1, memperlihatkan kenaikan massa (weight-gain) terhadap kenaikan temperatur dan waktu pada sampel non heat treatment ramp 10.



Gambar 1. Grafik TGA non heat treatment

Grafik yang dihasilkan dari alat TGA dapat dibuat data tertulis pada aplikasi Microsoft Excel untuk pengolahan data sehingga dapat dilihat pertumbuhan massa weight gain pada grafik diatas maka diketahui bahwa kurva kenaikan massa terhadap kenaikan temperatur dan waktu berada pada temperatur 400 sampai 650°C menjadi satu kurva.

Dengan mengetahui batasan grafik $\ln K$ dan $1/T$ untuk material dengan ramp 10 temperatur 400 - 650°C pada gambar 2 dan dengan menggunakan fungsi trendline (kecendrungan), didapatkan gradien dari kurva tersebut untuk mendapatkan besaran energi aktivasi.



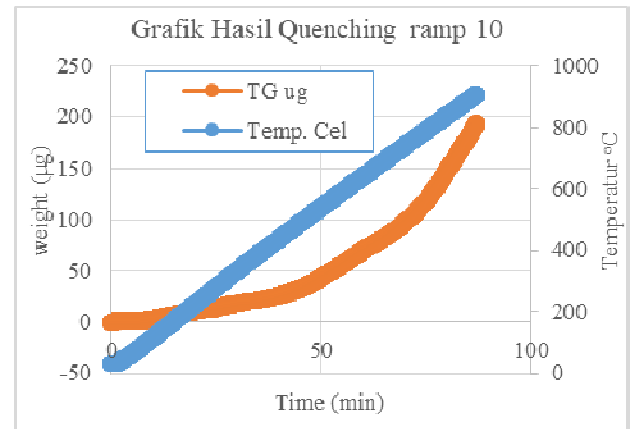
Gambar 2. Hubungan $\ln K$ dan $1/T$ 400° - 650°C.

Selain gradien, fungsi trendline juga untuk mengetahui R^2 yakni tingkat kepercayaan dengan skala 0 sampai 1 yang digunakan untuk mendapatkan batasan kurva yang paling baik. Dalam hal ini didapat $R^2 = 0,8226$ untuk ramp 10, dimana ini adalah nilai tertinggi yang dapat dicapai

dalam program excell. Garis linier trendline adalah $y = 3314 x - 7,0373$.

3.3 Sampel Heat Treatment Quenching

Pengujian TGA kedua dilakukan pada hasil pengecoran sampel heat treatment (quenching). Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara kenaikan massa dengan kenaikan temperatur dan waktu.

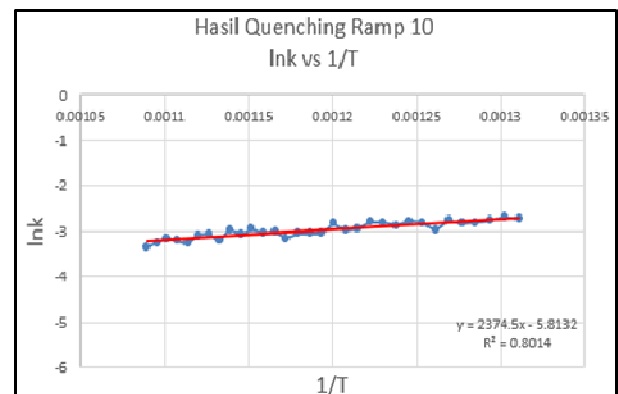


Gambar 3. Grafik TGA Quenching

Grafik TGA pada gambar 3 dibuat alat TGA melalui program berdasarkan data-data excell, sehingga didapatkan hubungan temperatur dengan kenaikan massa dan waktu. Menurut jurnal Smeltzer kurva dimulai temperatur 400°C-600°C, sedangkan dalam penelitian ini dilihat pada nilai 450°C-650°C.

Dengan mengetahui batas kurva maka dibuat grafik $\ln K$ dan $1/T$ seperti gambar 4 dengan menggunakan fungsi trendline maka didapat gradien dari kurva untuk menentukan besaran energi aktivasi. Menurut fungsi R^2 yakni dengan skala 0 sampai 1 untuk nilai yang tepat, didapat nilai 0,8014 sehingga dipastikan batas atas dan bawah memenuhi syarat.

Dari grafik hubungan $\ln K$ dan $1/T$ menggunakan trendline maka didapat gradien $y=2374,5 x - 5,8132$

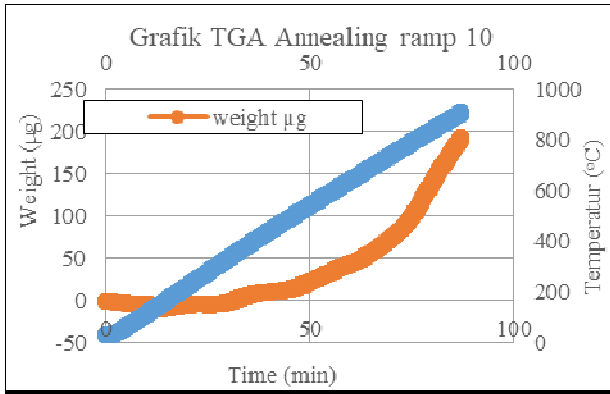


Gambar 4. Hubungan $\ln K$ dan $1/T$ 400° - 650°C.

yang bias mengarah pada kesimpulan yang mengacu pada tujuan penelitian.

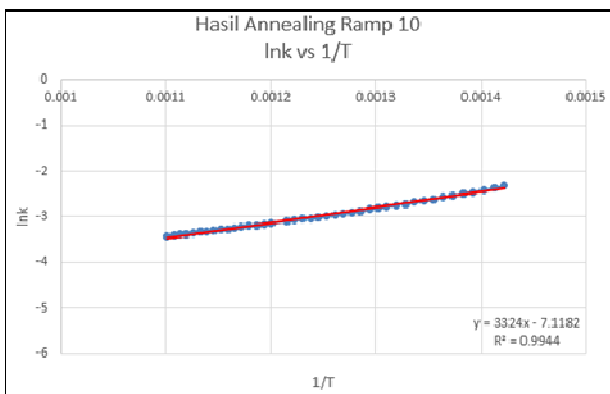
3.4 Sampel Heat Treatment (Annealing)

Gambar 5 memperlihatkan kenaikan massa terhadap kenaikan temperatur dan waktu pada sampel perlakuan panas aniling.



Gambar 5. Grafik TGA Annealing

Dengan mengetahui batasan grafik $\ln K$ dan $1/T$ untuk material dengan ramp 10 temperatur 450 - 650°C pada gambar 5 dan dengan menggunakan fungsi trendline, didapatkan gradien dari kurva tersebut untuk mendapatkan besaran energi aktivasi.



Gambar 6. Hubungan $\ln K$ dan $1/T$ 400° - 650°C

Selain gradien, fungsi trendline juga untuk mengetahui R^2 yakni tingkat kepercayaan dengan skala 0 sampai 1 yang digunakan untuk mendapatkan batasan kurva yang paling baik. Dalam hal ini nilai 0,9944. Sedangkan garis linier trendlinenya adalah $y = 3324x - 7,1182$.

3.5 Pembahasan

Sesudah dilakukan analisa pengujian TGA terhadap aluminium yang mendapat perlakuan panas yang berbeda, maka dihasilkan pola grafik dan kurva yang terjadi berbeda pada masing-masing sampel, serta perbandingan besaran energi aktivasi dan didapatkan beberapa fakta

3.6 Sampel Non Heat Treatment

Berdasarkan grafik dan termogram yang dihasilkan dari pengujian TGA yang telah diolah dari aplikasi microsoft Excel yang kita ketahui dari gambar 1 dengan ramp 10 maka merujuk pada jurnal yang memakai temperatur 400 - 600°C dan yang penulis bandingkan dengan penelitiannya dapat dilihat ada tiga tingkatan temperatur yaitu : Tingkat pertama antara 50°C sampai 350°C, tingkat kedua terjadi pada 350°C sampai 650°C, tingkat ketiga 650°C sampai 900°C (Trunov, Schoenitz, and Dreizin 2007). Namun untuk mendapatkan perbandingan energi aktivasi antara penelitian yang dilakukan jurnal dan penulis maka digunakan satu kurva perbandingan pada tingkat kedua oksidasi antara 350°C sampai 650°C.

Pada gambar grafik 1 dengan perbandingan ramp berbeda dibuat perbandingan penelitian yang memakai temperatur 450°C sampai 650°C proses oksidasi ini terlihat dimana dari temperatur 50°C terjadi penurunan massa material sampai 400°C hal ini menunjukkan pelepasan uap air dan unsur pengotor lainnya, mulai dari titik 449° sampai 649°C kenaikan massa mulai terlihat dengan ditariknnya garis trendline dan gradien yang diukur dari skala 0 sampai 1, jadi dengan grafik ini terlihat jelas kenaikan massa karena oksidasi, karena pada temperatur 650°C sampai 900°C adalah titik cair material jadi tidak perlu adanya pembahasan pada titik temperatur diatas 650°C.

Setelah didapat kan grafik hubungan $\ln K$ dan $1/T$ dari gambar 2, maka didapat energi aktivasi untuk ramp 10 adalah 30,1371 kJ/mol, yang dibutuhkan untuk terjadinya oksidasi pada aluminium.

3.7 Sampel Heat Treatment (Quenching)

Berdasarkan grafik dan termogram yang dihasilkan dari pengujian TGA yang telah diolah dari aplikasi microsoft Excel yang diketahui dari gambar 3 dengan ramp 10 maka merujuk pada jurnal yang memakai temperatur 400 - 600°C dan dibandingkan dengan penelitiannya dapat dilihat ada tiga tingkatan temperatur yaitu: Tingkat pertama antara 50°C sampai 350°C, tingkat kedua terjadi pada 350°C sampai 650°C, tingkat ketiga 650°C sampai 900°C. Namun untuk mendapatkan perbandingan energi aktivasi antara penelitian yang dilakukan jurnal dan penelitian ini, maka digunakan satu kurva perbandingan pada tingkat kedua oksidasi antara 350°C sampai 650°C.

Pada gambar grafik 3, dengan perbandingan ramp berbeda dibuat perbandingan penelitian yang memakai temperatur 450°C sampai 650°, proses oksidasi ini terlihat dimana dari temperatur 50°C terjadi penurunan massa material sampai 400°C hal ini menunjukkan pelepasan uap air dan unsur

pengotor lainnya, mulai dari titik 450° sampai 650°C kenaikan massa mulai terlihat dengan ditariknya garis trendline dan gradien yang diukur dari skala 0 sampai 1, jadi dengan grafik ini terlihat jelas kenaikan massa karena oksidasi, karena pada temperatur 650°C sampai 900°C adalah titik cair material jadi tidak perlu adanya pembahasan pada titik temperatur diatas 650°C.

Setelah didapat kan grafik hubungan $\ln K$ dan $1/T$ dari gambar 4, maka didapat energi aktivasi untuk ramp 10 adalah 23,537 kJ/mol, yang dibutuhkan untuk terjadinya oksidasi.

3.8 Sampel Heat Treatment (Annealing)

Pada gambar grafik 5, dengan perbandingan ramp berbeda dibuat perbandingan penelitian yang memakai temperatur 450°C sampai 650°, proses oksidasi ini terlihat dimana dari temperatur 50°C terjadi penurunan massa material sampai 400°C hal ini menunjukkan pelepasan uap air dan unsur pengotor lainnya, mulai dari titik 450° sampai 650°C kenaikan massa mulai terlihat dengan ditariknya garis trendline dan gradien yang diukur dari skala 0 sampai 1, jadi dengan grafik ini terlihat jelas kenaikan massa karena oksidasi, karena pada temperatur 650°C sampai 900°C adalah titik cair material jadi tidak perlu adanya pembahasan pada titik temperatur diatas 650°C.

Setelah didapat kan grafik hubungan $\ln K$ dan $1/T$ dar gambar 6, maka didapat energi aktivasi untuk ramp 10 adalah 28,373 kJ/mol, yang dibutuhkan untuk terjadinya oksidasi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian TGA terhadap aluminium kaleng bekas pengecoran dengan sampel non heat treatment, quenching, annealing:

- 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 Anealling, $E = 28,373$ kJ/mol.
- 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.
- 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.

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

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu memfasilitasi atas penelitian ini, terimakasih disampaikan kepada PT. PUSRI yang telah memberikan kesempatan untuk pemanasan material. Terimakasih juga disampaikan kepada pihak LP2M Unsri yang telah berkenan memberikan dana penelitian melalui hibah penelitian Profesi tahun 2018, Nomor: 0109.10/UN9/SB3.LP2M.PT/2018.

DAFTAR PUSTAKA

1. AlSaffar, Kiffaya Abood, and Layla Muhsan Hasan Bdeir. 2008. "Recycling of Aluminum Beverage Cans." *Journal of Engineering and Development* 12 (3): 157–63.
2. Askeland, Donald R; Fulay, Pradeep P;Wright, Wendelin J. 2011. *The Science and Engineering of Materials*. Sixth. Australia: Cengage Learning, Inc.
3. "Capral/s Little Green Book." 2013. Capral/s Little Green Book. Australia.
4. Nicolaescu, Ion V., Gabriel Tardos, and Richard E. Riman. 1994. "Thermogravimetric Determination of Carbon, Nitrogen, and Oxygen in Aluminum Nitride." *Journal of the American Ceramic Society* 77 (9): 2265–72. doi:10.1111/j.1151-2916.1994.tb04592.x.
5. Nukman. 2008. "Dekomposisi Volatile Matter Dari Batubara Tanjung Enim Dengan Menggunakan Alat Thermogravimetry Analyzer (TGA)." *MAKARA, TEKNOLOGI* 12 (November): 65–69. doi:10.7454/mst.v12i2.509.
6. Nukman, Riman Sipahutar, and Taufik Arief. 2015. "Nilai Kalori Dari Campuran Minyak Pelumas Bekas Dan Kerosene." In *Seminar Nasional Added Value OfEnergy Resources (AVoER) Ke-7 Rabu, 21Oktober 2015 Di Kota Palembang, Indonesia NILAI*, 164–67. Palembang: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
7. Smeltzer, W W. 1956. "Oxidation of Aluminum in the Temperature Range 400o-600oC." *Journal of the Elctrochemical Society* 103 (4): 209–14. doi:10.1149/1.2430279.
8. Suhariyanto. 2003. "Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium (A356 . 0) Dengan Menambahkan TiC." *Jurnal Teknik Mesin* 3 (1): 20–24.

9. Surdia, Tata, and Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Book. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
10. Trunov, M A, M Schoenitz, and E L Dreizin. 2007. "Combustion Theory and Modelling Effect of Polymorphic Phase Transformations in Alumina Layer on Ignition of Aluminium Particles." *Combustion Theory and Modelling*, no. December 2013: 37–41. doi:10.1080/13647830600578506.