

BESARAN ENERGI AKTIVASI DAN TEMPERATUR SOLIDUS DARI ALUMINIUM ALLOY 7075

Nukman^(1,2*) dan Hadi Sutanto⁽¹⁾

⁽¹⁾Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

⁽²⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

^(*)E-mail *Corresponding Author* : nukman@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Aluminium Alloy 7075 adalah jenis aluminium dengan paduan dominan zinc. Aluminium jenis ini banyak dipakai untuk badan dan rangka pesawat udara. Energi Aktivasi dan Temperatur Solidus dapat diperhitungkan dengan menggunakan Termogravimetry Analyzer. Dengan memakai persamaan Arrheniuss, dapat diperhitungkan besaran energi Aktivasi, sedangkan memakai hubungan TG dan DTA pada diagram Termogram, dapat ditentukan temperatur leleh material AA 7075 atau temperatur solidus. Temperatur solidus telah terukur 633,8 °C dan energi aktivasi dihitung sebesar 2.842 kJ/mol.

Kata Kunci: Aluminium Alloy, TGA, Activation Energy, Solidus Temperatur

Abstract

Aluminum Alloy 7075 is a type of aluminum with a dominant zinc alloy. This type of aluminum is widely used for aircraft bodies and frames. Activation Energy and Solidus Temperatur can be calculated using Thermogravimetry Analyzer. By using the Arrhenius equation, the amount of Activation energy can be calculated, while using the relationship between TG and DTA on the Thermogram diagram, the melting temperatur of AA 7075 material or solidus temperatur can be determined. The solidus temperatur has been measured at 633.8 °C and the activation energy is calculated at 2,842 kJ/mol.

Keywords: Aluminium Alloy, TGA, Activation Energy, Solidus Temperature

1 PENDAHULUAN

Secara umum logam terbagi dua, yaitu ferro dan non-ferro. Macam logam ferro adalah besi, sedangkan logam non-ferro antara lain aluminium, titanium, nikel, tembaga, seng, magnesium. Untuk mendapatkan kombinasi sifat yang lebih baik, logam-logam biasanya dipadu dengan unsur paduan. Untuk besi, umum ditambahkan karbon sebagai pemadu. Secara umum, logam memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik. Logam dan paduan memiliki kekuatan yang relatif tinggi, kekakuan yang tinggi, keuletan atau kemampuan bentuk, dan ketahanan terhadap beban dinamis. Paduan adalah logam yang mengandung tambahan satu atau lebih logam atau non-logam. Aluminium adalah salah satu logam non-ferro yang banyak digunakan, dan hampir dalam kehidupan sehari-hari ditemui logam aluminium. Dalam bidang dirgantara, aluminium memakan peran penting sebagai bagian utama dari konstruksi pesawat, baik sebagai badan pesawat maupun sayap pesawat.

Beberapa material seperti Kramik dan Nikel superalloy mempunyai sifat mekanik yang baik pada temperatur tinggi, sedangkan polimer dan aluminium mempunyai sifat mekanik pada temperatur rendah, yang berkisar temperaturnya antara 500 sd 900 °C [1]. Dalam beberapa hal, untuk meningkatkan sifat

mekanis material, dilakukan perlakuan panas. Pengaturan besarnya temperatur dan lamanya perlakuan serta lamanya waktu pendinginan sangat menentukan perubahan sifat mekanis tersebut. Tentu perlakuan panas dilakukan pada material dengan temperatur dibawah titik leleh, titik leleh adalah suatu kondisi dimana ikatan antar atom berada pada posisi sangat lemah. Penentuan titik leleh umumnya didapat dengan cara memberikan energi yang cukup besar, yang dalam hal ini adalah peningkatan temperatur, yang berarti material menerima energi, proses ini disebut sebagai reaksi endoterm. Sampai pada saat akan meleleh, bila kenaikan temperatur ditahan dan tidak ditingkatkan, maka saat terjadi pemindahan kalori di sekeliling, maka reaksi ini disebut sebagai reaksi eksoterm [2]. Juga dinyatakan, pencairan merupakan proses endotermik karena material menyerap energi untuk mencairkan material. Stabilitas atas ion bergantung kepada ikatan antar atom.

Kemampuan atom dan ion untuk berdifusi meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur, atau energi termal yang dimiliki oleh atom dan ion. Laju pergerakan atom atau ion dikaitkan dengan temperatur atau energi termal melalui persamaan Arrhenius [1] :

$$\text{Rate} = c_0 \exp(-Q/RT) \quad (1)$$

dimana c_0 adalah konstanta, R adalah konstanta gas 8,13 kJ/mol °K, T adalah temperatur absolut (°K), dan Q adalah energi aktivasi (kJ/mol) yang dibutuhkan yang menyebabkan Avogadro's number yang dibutuhkan untuk menyebabkan jumlah atom atau ion Avogadro bergerak. Persamaan tersebut dapat ditulis dalam [1] :

$$\ln k = \ln A - Q/RT \quad (2)$$

Dengan menggambarkan hubungan antara $\ln k$ (laju reaksi) versus $1/T$, maka Q dapat dihitung. Dengan menggunakan peralatan *thermogravimetry analyzer* maka diafragma fasa dapat dibuat. Diagram fasa dalam hubungan antara temperatur dan komposisi material dan paduannya. Dalam diagram ini, dapat dilihat adanya garis pemisah antara persentase kimia paduan dan temperatur pemanasan. Terdapat tiga kondisi material dalam diagram tersebut yaitu; kondisi padat (*solid*), cairan (*liquid*) dan daerah antara mereka yaitu daerah campuran solid dan liquid. Garis yang terbentuk karena pemanasan temperatur rendah adalah garis solidus. Melewati kondisi campuran *solid* dan *liquid* terdapat batas garis liquidus. Dengan memanfaatkan alat *thermogravimetry analyzer* dan persamaan Arrhenius maka akan dapat diperhitungkan titik pada mana material akan mulai meleleh, yaitu pada garis solidus berbatas dengan kondisi campuran *solid* dan *liquid*. Dengan demikian maka akan didapat dua keuntungan bila memakai alat dan persamaan ini, yaitu dapat menentukan garis solidus atas perbandingan komposisi kimia campuran paduan, serta dapat menentukan titik temperatur maksimum untuk melakukan perlakuan panas pada material.

Peneliti Aldika & Nukman menuliskan besaran energi aktivasi dan solidus temperatur yang didapat dengan menggunakan *thermogravimetry Analyzer* [3]. Pencampuran dua material yaitu pure aluminium dan pure timah putih dilakukan dalam 4 cara. Energi aktivasi yang terbesar yang didapat adalah campuran antara pure aluminium 64,24 kJ/mol dan untuk campuran dengan pure Stannum 10%, energi aktivasi menjadi 47,68 kJ/mol. Dengan penambahan stannum, terlihat bahwa energi aktivasinya semakin mengecil. Sedangkan temperatur 635,2 °C untuk campuran 90%+10% dengan pure aluminium 656,2 °C. Terlihat bahwa meningkatnya temperatur diikuti peningkatan energi aktivasi. Ini dapat ditentukan bahwa dengan adanya penambahan paduan pada logam murni akan mengubah temperatur titik leleh atau temperatur solidus, dan begitu juga energi aktivasinya akan berubah. Dengan cara ini dapat dilihat bahwa bila suatu material dengan persentase campuran paduan yang tidak diketahui jumlahnya yang akan diberi perlakuan panas, maka dapat diukur dan dihitung dengan *thermogravimetry*.

Untuk AA6061 yang dilebur ulang, yang dipanaskan dengan *thermogravimetry analyzer*, maka temperatur solidus yang terbaca adalah 600 °C [4]. Dari hubungan grafik TGA dan DTA dapat ditemukan titik

leleh material, dimana proses yang terjadi adalah endoterm, yaitu suatu proses penyerapan panas/kalori terhadap material.

Iwasaki menyebut sebagai proses endoterm untuk pemanasan material yang diuji. Perhitungan TG dan DTA yang dilakukan juga memakai persamaan Arrhenius [5].

Pentingnya mempelajari TGA adalah untuk dapat menentukan temperatur leleh, padatan material dengan komposisi paduan yang tidak diketahui persentase masing masing. Juga dengan demikian dapat digunakan untuk menganalisis logam tertentu yang belum diketahui komposisinya. Temperatur solidus dapat diartikan sebagai bagian yang ada dalam diagram fasa yang disimbolkan sebagai T_e yang adalah temperatur ektetik yang bermakna temperatur terendah campuran atau dimana komposisi material akan meleleh [6].

Kurva *Diferensial Thermal Analysis* (DTA) terutama digunakan untuk mendeteksi dan mengkarakterisasi proses termal (seperti *endoterm/eksoterm*) secara kualitatif [7].

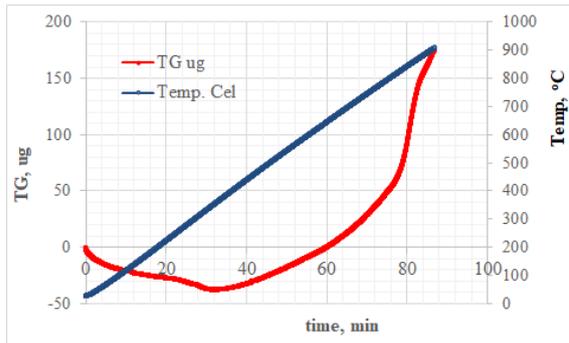
Aluminium Alloy 7075 adalah salah satu jenis aluminium yang banyak dipakai dalam industri dirgantara. Material ini mempunyai komposisi kimia 0,4 Si, 0,5 Fe, (1,2-2,0) Cu, 0,3 Mn, (2,1-2,9) Mg, (0,18-0,28) Zr, (5,1 -6,1) Zn. Dari sini terlihat bahwa AA7075 paduannya didominasi oleh Zn. Kehadiran Zn dapat meningkatkan solution potentialnya yang menjadikannya sebagai pelapis lindung (*protective cladding*). Material ini juga dapat diberikan perlakuan panas, T6 (*solution treatment* diikuti dengan penuaan buatan/ *artifisial aging*) dan O (*temper*). Kemampuan *forgingnya* rendah dan kisaran temperatur *heat treatmentnya* 380-440 °C. Temperatur lelehnya 475-635 °C, dengan catatan bahwa dengan proses *homogenisasi* dapat meningkatkan temperatur solidusnya 10 hingga 20 °C, densitasnya 2,81 g/cm³. AA7075 T6 mempunyai sifat mekanis: UTS 570 MPa, modulus elastisitas E 72 GPa, elongasi 11% [8].

2 METODOLOGI

Material yang dipakai dalam penelitian ini adalah Aluminium Alloy 7075-T6. Logam non-ferro dalam bentuk batangan dibeli dari agen toko penjualan material aluminium, dikikis dengan gergaji, kemudian diayak dengan menggunakan saringan dengan saringan 80 mesh, didapat sebanyak 20 mg.

Alat yang dipakai untuk penelitian yaitu menggunakan *Thermogravimetry Analyzer* TG/DTA Exstar SII 7300, laju pemanasan konstan (*Ramp*) 10°C/ min hingga mencapai temperatur 900 °C dengan menggunakan atmosfer gas Nitrogen, dan memakai pan berbahan alumina.

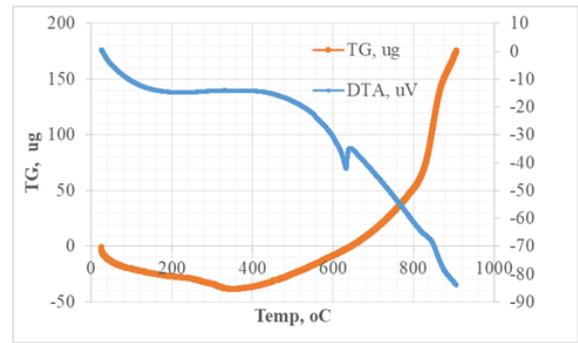
3 HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1. Termogram untuk AA7075

Penurunan massa akibat pemanasan terjadi selama selang waktu lebih dari 30 menit, hingga mencapai temperatur 339,5 °C. Hal ini terjadi, bila material aluminium dipanasi, maka uap air pada permukaan material akan menguap, dan juga kemungkinan adanya kotoran halus yang terbakar. Mulai temperatur 339,5 °C seiring dengan penambahan waktu, kenaikan temperatur akan berpengaruh dengan penambahan massa. Massa dalam hal ini adalah penambahan massa atmosfer yang ditambahkan ke dalam ruang bakar alat (Gambar 1). Telah diketahui bahwa temperatur titik leleh aluminium sekitar 600-700 °C. Dalam selang waktu itu, penambahan kalor, berakibat pemisahan atom sehingga material menjadi mulai meleleh dan mencair. Dalam kenaikan temperatur, fasa material akan berubah menjadi fasa campuran padat dan cairan. Reaksi penyerapan energi kalor itu adalah endoterm.

Temperatur solidus yang merupakan titik leleh didapat dengan menggambarkan hubungan antara TG, DTA dan Temperatur. Dari garis DTA terlihat adanya puncak garis, yang merupakan titik lebur dimana besaran temperatur solidus didapat dengan menghubungkan dengan garis TG. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa proses dekomposisi material akibat peningkatan temperatur dimulai dari temperatur 339,5 °C. Proses ini akan terus berlanjut sampai titik puncak garis pada DTA. Dari hubungan kedua garis ini didapat temperatur puncak yaitu sebesar 633,8 °C, yang merupakan titik cair dan disebut sebagai temperatur solidus. Dengan demikian proses kenaikan temperatur dari 582,3 ke 633,8 adalah penambahan kalor untuk mengdekomposisi material AA7075, yang merupakan proses perubahan fasa dari solid menuju cair. Batas ini adalah batas kritis. Reaksi ini adalah reaksi endoterm [5], dimana material menerima kalor sampai dengan titik cair.



Gambar 2. Diferensial Thermal Analysis AA7075

Pengolahan data secara statistik untuk dapat menggambarkan hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$.

Dari persamaan Arrhenius:

$$\ln k = \ln A - Q/RT \quad (3)$$

k : laju pemanasan

A : pre-eksponensial

Q : energi aktivasi J/mol

R : konstanta gas = 8.314 J/mol °K

Persamaan ini dapat disederhanakan:

$$\begin{aligned} y &= mx + c \\ &= m \cdot 1/T + c \\ &= Q/R \cdot (1/T) + c \end{aligned}$$

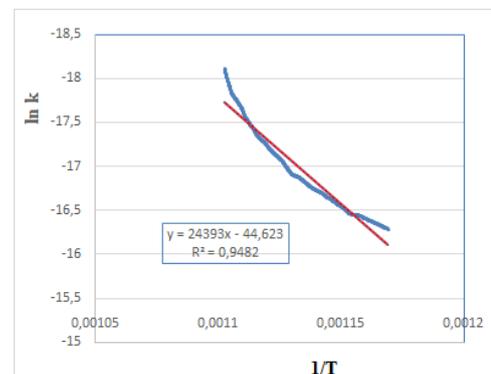
$$\ln k = (Q/R) \cdot (1/T) + c$$

atau:

$$Q = (\ln k) \times (T) \times (R) - c$$

Dengan demikian, nilai Q energi aktivasi didapat sebesar: 2.842 kJ/mol.

Besaran energi aktivasi ini adalah energi yang diperlukan untuk memanaskan material AA7075 setelah temperatur 339,5 °C. Maksimum temperatur yang dicapai dalam reaksi endoterm ini adalah 633,8 °C yang merupakan temperatur solidus [9] dan dimulai pada temperatur 582,2 °C untuk mencapai reaksi endoterm (Gambar 3). Besaran energi inilah yang diperlukan untuk mendekomposisi material AA7075 untuk memulai mencairkan material.



Gambar 3. Grafik hubungan $\ln k$ vs $1/T$

4 KESIMPULAN

Aluminium Alloy 7075 telah diukur dengan menggunakan *termogravimetry analyzer*. Dengan menggambarkan hubungan antara temperatur, DTA dan TG, telah dapat dihitung besaran energi aktivasi sebesar 2.842 kJ/mol, sedangkan temperatur solidus telah terukur sebesar 633,8 °C, dan ini sesuai dengan nilai antara temperatur lelehnya 475 - 635 °C [8]. Untuk diberikan perlakuan panas, maka AA 7075 ini dapat diberikan perlakuan panas pada temperature antara 380 – 440 °C [8], karena dibawah garis solidus. Pemanasan awal setelah unsur adanya air dan kotoran halus dapat terbakar, maka pemanasan dilakukan pada temperatur lebih awal yaitu pada temperatr 339,5 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Askeland, R. D. & Wright, W. J., *The Science and Engineering of Materials*. 7 ed. Boston: Engage Learning. 2016.
- [2] Gabbott, P. *Principles and Applications of Thermal Analysis*. Oxfprd: Balckwell Publishing Ltd. 2008.
- [3] Aldika & Nukman. Energy Activation of Decomposition of Castings of Pure Aluminum - Stannum Alloy. *Indonesian Journal of Engineering and Science*, July, 3(2), p. 61. 2022.
- [4] Surya, I. et al. TGA/DTA Analysis for AA6061 with Fine Coal Blend. Palembang, AIP Publishing. 2023.
- [5] Iwasaki, K. et al. Non-contact terahertz evaluation of the melting point for PET bottles. *Thermochimica Acta*, March. Volume 736. 2024.
- [6] Brown, M. E. *Introduction to Thermal Analysis*. New York: Kluwer Academic Publishers. 2004.
- [7] Seetharaman, S. *Fundamentals of Metallurgy*. 1st ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited. 2005.
- [8] ASM-Handbook. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. 2nd ed. s.l.:ASM International. 1992.
- [9] Callister, W. D. J. *Materials Science and Engineering*. 7 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2007.