

ANALISA KEKERASAN DAN *FRACTURE TOUGHNESS* ALUMINA DIPERKUAT SERBUK ALUMINIUM DAN TEMBAGA

Oleh :

Hendriwan Fahmi

*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Padang*

Abstract

Composite is a big picture in the development of today's materials science engineering. This material seems to be able to replace the role of metallic and non-metallic materials. The purpose of this study was to determine the effect of the addition of aluminum powder (Al) and copper (Cu) in the matrix Alumina (Al₂O₃) on the hardness and fracture toughness values. Aluminum powder is made with water atomization process and copper powder prepared by centrifugal atomization process. Aluminum powder and copper followed by a sifting process using mesh size 50-100 to get a powder size of 125-150 μm. From the steps followed by the process of mixing the composition variation of 100% volume of Al₂O₃, 90% Al₂O₃ + 10% Volume weight of Al and Cu, 80% Volume Al₂O₃ + 20 wt% Al and Cu, 70% Volume Al₂O₃ + 30 wt% Al and Cu, 60% Volume Al₂O₃ + 40 wt% Al and Cu. Then do the process of compacting pressure with of 140 MPa. Sintering process is done using a furnace with a temperature of 1150 °C with Heating rate 5° C / min. In this study, the highest value is 84 HRC hardness and average of 76.83 HRC. and fracture toughness (K_{1C}) highest this 1,388 obtained at 60% volume composition Al₂O₃ + 40 wt% Al and Cu with an average bending stress of 1,227 MPa.m^{1/2}.

Kata kunci: Energi surya, solar sell, transmisi

PENDAHULUAN

Proses pembuatan serbuk melibatkan perpindahan energi pada material untuk membentuk luas permukaan yang baru. Karakteristik penting yang harus dipertimbangkan dalam proses pabrikasi serbuk antara lain efisiensi proses, energi yang diperlukan, jenis dan bentuk bahan serta nilai ekonomisnya. Karena proses pembuatan serbuk itu sendiri membutuhkan peralatan yang relatif modern. Pada saat itu serbuk diproduksi melalui berbagai metode, secara umum dibagi menjadi empat jenis metode yaitu metode mekanik, elektrolitik, kimia dan atomisasi. Metode – metode pabrikasi serbuk sangat menentukan karakteristik serbuk yang diproduksi. Untuk metode pabrikasi yang berbeda, serbuk yang dihasilkan akan memiliki karakteristik yang berbeda pula.

Selain untuk kebutuhan proses metalurgi serbuk, serbuk juga sudah mulai digunakan untuk bahan paduan dalam proses pengelasan dan sebagai bahan pelapis pada proses pelapisan, agar didapatkan hasil yang memiliki kualitas yang lebih baik memproduksi komposit serta menganalisa komposit yang

dihasilkan. Maka penulis sangat tertarik untuk mengetahui dan meneliti karakteristik komposit yang dihasilkan dalam penelitian ini. Uji sifat mekanik yang dilakukan adalah analisa kekerasan dan *fracture toughness* dilakukan untuk mengetahui kekuatan material dari penambahan serbuk komposit alumina aluminium dan tembaga. Dengan ukuran serbuk rata-rata 75-100 μm. Pembatasan masalah pada penelitian ini mengenai apakah pengaruh komposisi (Al-Cu) pada Matrik Alumina (Al₂O₃) terhadap kekerasan dan *fracture toughness* yang meliputi :

1. Variasi Komposisi :
 - 100% Volume (Al₂O₃)
 - 90% Volume (Al₂O₃) + 5% Volume (Al) + 5% Volume (Cu)
 - 80% Volume (Al₂O₃) + 10% Volume (Al) + 10% Volume (Cu)
 - 70% Volume (Al₂O₃) + 15% Volume (Al) + 15% Volume (Cu)
 - 60% Volume (Al₂O₃) + 20% Volume (Al) + 20% Volume (Cu)

2. Tekanan kompaksi yang diberikan sebesar 140 MPa.
3. Temperatur sinter 1150 °C dengan *Heating Rate* 5°C / menit.
4. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan dengan *metode rockwell* dan *fracture toughness* (K_{Ic}) dengan skema four poin bending.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat-sifat mekanik pengaruh variasi komposisi serbuk Aluminium dan Tembaga pada Matrik Alumina terhadap kekerasan dan *fracture toughness*.

Teori Dasar

Bauksit merupakan salah satu sumber aluminium yang ekonomis. Bauksit terdapat di daerah Bintan dan Kalimantan. Cara pengembangannya adalah penambangan terbuka, bauksit yang sudah dihaluskan, dicuci dan dikeringkan. Setelah itu bauksit mengalami pemurnian menjadi oksidasi aluminium atau alumina. Proses bayer yang dikembangkan oleh Karl Bayer seorang ahli kimia kebangsaan Jerman, biasanya untuk memperoleh aluminium murni bauksit kering dan halus dimasukkan ke dalam pencampur, diolah dengan soda (NaOH) bereaksi dengan bauksit menghasilkan aluminium natrium yang larut setelah proses selesai. Tekanan dikurangi dan ampas yang terdiri dari oksida besi yang tidak larut, silikon, titanium dan kotoran-kotoran lainnya melalui suatu saringan. Cairan yang mengandung aluminium dalam bentuk aluminat natrium dipompa ke dalam tangki pengendapan.

Didalam tangki tersebut, dibubuhkan kristal aluminium hidroksida yang halus, kristal halus tadi menjadi inti kristalisasi dan kristal aluminium hidroksida terpisah dari larutan, oksidasi aluminium ini kemudian disaring dan dipanaskan mencapai suhu 980°C aluminium berubah dan siap untuk dilebur. Logam aluminium dihasilkan melalui proses elektrolisis dimana alumina berubah menjadi oksigen aluminium, alumina murni dilarutkan ke dalam kriolit cair natrium aluminium fluoride didalam dapur elektrolit yang besar atau sel reduksi. Aluminium diperoleh dengan mengekstraksi Alumina (Aluminium oxide) dari bauksit melalui proses kimia, kemudian alumina tersebut larut dalam elektrolit cair

ketika arus listrik mengalir melalui alumina. Hal tersebut mengakibatkan logam aluminium terkumpul pada katoda, kemurniannya mencapai 99,85 % dengan mengekstrolisasi kembali, maka akan didapat aluminium dengan kemurnian 99,99 %. Aluminium merupakan logam yang mempunyai sifat-sifat :

- a. Ringan
- b. Tahan korosi
- c. Daya hantar listrik yang baik

Namun aluminium memiliki sifat mekanik yang buruk sehingga untuk memperbaiki sifat-sifat mekaniknya perlu diberi unsur-unsur tambahan seperti silikon, tembaga, mangan, ferro, magnesium, serta unsur-unsur yang lain dapat memperbaiki sifat aluminium itu sendiri.

Paduan Aluminium

Fungsi dari penambahan unsur paduan adalah untuk memberikan pengaruh atau melengkapi sifat dasar aluminium murni. Selain itu, unsur paduan juga berfungsi untuk memperkuat sifat dasar aluminium dan memperbaiki kualitasnya sehingga menghasilkan aluminium paduan yang sesuai dengan kebutuhan. Berikut ini adalah unsur yang sering dijadikan paduan aluminium.

- a. Silikon (Si).
Silikon memiliki kelebihan tertentu karena dapat memberikan kemampuan cair yang baik terhadap logam induk. Unsur ini juga mempengaruhi ketahanan korosi, ketahanan panas, serta memberikan sifat terhadap kondisi permukaan yang bagus/halus untuk material coran.
- b. Tembaga (Cu).
Tembaga dapat memberikan sifat kemampuan cair, namun bila unsur ini berlebih akan berpengaruh terhadap ketahanan korosi.
- c. Magnesium (Mg).
Dengan memadukan unsur ini, diharapkan akan mendapat sifat ringan pada material karena berat jenis magnesium adalah yang paling ringan, yaitu 1,89 g/cm³. Unsur ini juga mampu menahan oksidasi dan retak pada suhu tinggi.
- d. Besi (Fe)
Besi berfungsi mencegah penempelan logam cair pada cetakan selama proses penuangan. Namun bila unsur ini berlebih

- akan menurunkan kekuatan tarik dan meningkatkan kekerasan sehingga akan sulit dalam proses machining.
- e. Mangan (Mn).
Unsur ini berpengaruh terhadap ketahanan, kekerasan unsur, dan ketahanan korosi. Namun bila unsur ini berlebih akan menurunkan kemampuan tuang dan mengkasarkan butir partikel sehingga akan berpengaruh terhadap permukaan.
 - f. Nikel (Ni).
Unsur ini mempunyai sifat keras, keliatan, tahan api, panas dan asam.
 - g. Krom (Cr).
Unsur ini juga dapat meningkatkan kekuatan tarik dan pengerasan inti.

Alumina

Al_2O_3 (Alumina) merupakan oksida keramik yang paling banyak digunakan diantara beberapa macam oksida keramik yang ada dan seringkali dianggap sebagai pelopor keramik rekayasa modern. Alumina memiliki massa jenis $3,89 \text{ gr/cm}^3$, titik leleh tinggi ($2050 \text{ }^\circ\text{C}$), dan ketahanan terhadap panas atau ketahanan apinya telah lama dimanfaatkan oleh perancang tanur. Gaya pengikat interatomiknya, sebagian ionik dan sebagian kovalen sangat kuat dan struktur kristal alumina secara fisis tetap stabil hingga temperatur sekitar $1500\text{-}1700 \text{ }^\circ\text{C}$. Apabila akan digunakan untuk komponen rekayasa pada temperatur lebih rendah, umumnya dipakai keramik alumina berbutir halus ($0,5\text{-}20 \mu\text{m}$) dengan porositas mendekati nol.

Alumina memiliki keunggulan seperti: kekerasan tinggi akan tetapi getas, tahan terhadap *wear*, kekuatan (*strenght*), kekakuan (*stiffness*) tinggi, konduktivitas *thermal* baik, kapabilitas ukuran dan bentuk yang baik, *resistensi* terhadap serangan asam kuat dan alkali pada temperatur tinggi. Struktur alumina tersebut antara lain :

- a. Corundum (- Al_2O_3)
- b. Gamma Alumina (- Al_2O_3)
- c. Gamma prime Alumina (- Al_2O_3)
- d. Delta Alumina (- Al_2O_3)
- e. Theta Alumina (- Al_2O_3)
- f. Kappa Alumina (- Al_2O_3)
- g. Eta Alumina (- Al_2O_3)
- h. Chi Alumina (- Al_2O_3)

Proses ekstraksi alumina dari bantuan bauksit adalah dengan menggunakan proses bayer, dimana proses ekstraksi ini adalah merupakan proses yang paling ekonomis untuk mensintesa alumina hingga saat ini dari segi pemakaian panas. Proses bayer ini dipatenkan oleh seorang bernama KARL JOSEF BAYER pada tahun 1889. Proses bayer dilakukan dengan cara memisahkan unsur-unsur pengatur utama yang terdapat pada bauksit, seperti: SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , dan sebagai material organik. Proses ekstraksi material bauksit ini dilakukan dengan temperatur 190°C , dengan menggunakan larutan 30% NaOH dari hasil tersebut diperoleh senyawa $Al(OH)_3$ yang telah bebas dari bahan-bahan ikutannya.

Tembaga

Cu (Tembaga) merupakan salah satu unsur logam transisi yang berwarna cokelat kemerahan dan merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik. Di alam, tembaga terdapat dalam bentuk bebas maupun dalam bentuk senyawa-senyawa, dan terdapat dalam bentuk biji tembaga seperti ($CuFeS_2$), kuprit (Cu_2O), kalkosit (Cu_2S), dan malasit ($Cu_2(OH)_2CO_3$). Spesifikasi tembaga :

- Massa jenis : $8,9 \text{ gr/cm}^3$
- Titik lebur : $1083 \text{ }^\circ\text{C}$
- Kekuatan tarik : 160 N/mm^2

Logam ini termasuk logam berat non besi (logam dan paduan yang tidak mengandung Fe dan C sebagai unsur dasar) yang memiliki sifat penghantar listrik dan panas yang tinggi, keuletan yang tinggi dan sifat tahanan korosi yang baik (*Wikipedia*, 2010). Sehingga produksi tembaga sebagian besar dipakai sebagai kawat atau bahan untuk menukar panas dalam memanfaatkan hantaran listrik dan panasnya yang baik. Biasanya dipergunakan dalam bentuk paduan, karena dapat dengan mudah membentuk paduan dengan logam – logam lain diantaranya dengan logam Pb dan logam Sn (*Van Vliet, et.all.*, 1984).

Komposit

Pengembangan material komposit saat ini maju dengan pesat. Material komposit merupakan kombinasi makroskopik dari dua material atau lebih yang membentuk suatu material baru dan

memiliki sifat lebih baik dibanding material penyusunnya. Material komposit terdiri dari dua penyusun utama yaitu matriks dan penguat yang disatukan oleh ikatan permukaan. Suatu material dikatakan sebagai komposit jika penyusunnya memiliki sifat berbeda dan komposit yang dihasilkan memiliki sifat yang berbeda dari penyusunnya. Biasanya penguat yang terkandung di dalam material komposit di atas 5%. Tujuan pembuatan material komposit yaitu untuk mendapatkan sifat (mekanis, optis, termal, maupun kelistrikan) terbaik dari kombinasi sifat dasar material-material penyusunnya untuk kebutuhan suatu aplikasi tertentu.

Penyusun utama dari komposit disebut matriks, memiliki sifat mekanis lebih lemah dibandingkan filler atau penguatnya. Adapun fungsi dari matriks pada komposit, yaitu :

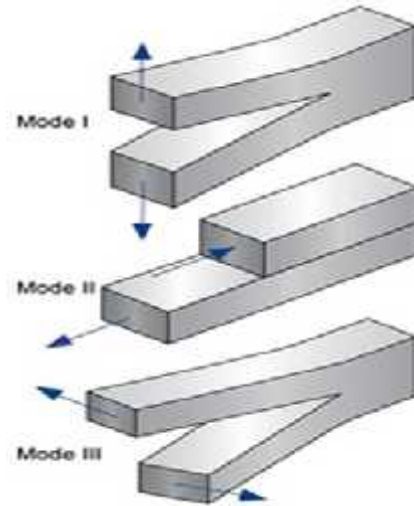
- Mengikat partikel penguat agar bisa menyatu dengan matriks melalui sifat adhesi dan kohesi.
- Pemisah antar penguat dan juga mencegah timbulnya perambatan *crack* dari satu penguat ke penguat lain.
- Sebagai penentu stabilitas bentuk dan ketahanan terhadap temperatur.
- Pelindung penguat dari lingkungan abrasif dan korosif.
- Media dimana tegangan eksternal yang diaplikasikan ke komposit kemudian ditransmisikan dan didistribusikan ke penguat.
- Pemberi ketangguhan dan kekuatan geser, serta penjaga orientasi penguat yang terdispersi di dalamnya.

Untuk mencapai fungsi tersebut, matriks yang digunakan harus memiliki ductility yang tinggi, modulus elastisitas lebih rendah dari penguat, serta memiliki ikatan yang bagus antara matriks dan penguat. Umumnya, matriks yang biasa digunakan adalah polimer dan logam, tetapi berdasarkan matriksnya komposit dibagi 3 yaitu komposit berbasis logam, keramik dan polimer.

Pengujian K_{IC} (*fracture toughness*).

Ada beberapa teknik yang di gunakan untuk menentukan nilai K_{IC} , diantaranya adalah fracture stress yang dapat menentukan nilai-

nilai geometri dan jenis dan panjang *crack* (takikan) yang dapat dibuat dengan menggunakan indenter yang kuat seperti mata intan. Beberapa teori pengujian untuk mengetahui perambatan patahan pada gambar.



Gambar 1. Pengujian *fracture toughness*

Pada metode 1 pemberian pembebanan terhadap retak (pola pembukaan), pada metode 2 pembebanan geser terhadap retak (pola geser) metode 3 pemberian beban menyobek retak (pola sobek) dimana K_{IC} dengan metode single edge notched beam dapat digambarkan crack atau takikan yang dibuat menentukan sudut dan panjangnya. Sampel diberikan beban sampai patah atau hancur. Keuntungan menggunakan metode ini adalah kemudahan dalam penyiapan sampel, hal ini dikarenakan kondisi takikan yang diberikan dapat terlihat.

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah eksperimental, yaitu hasil pengujian yang di lakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin (Institut Teknologi Padang). Pengujian bahan dilakukan dengan pengujian kekerasan dan *fracture toughness* menggunakan alat uji kekerasan dengan metode rockwell dan pengujian *fracture toughness* dengan metode four poin bending yaitu mesin UTM (*Universal Testing Machine*).

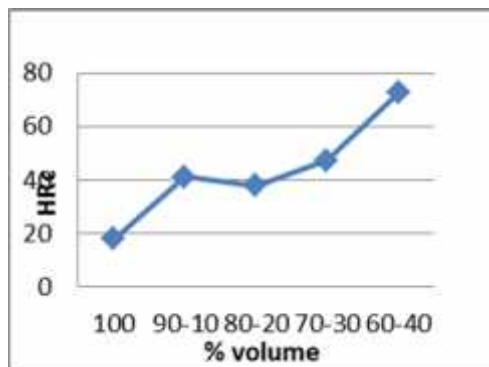
Peleburan dan Pengatomisasian Aluminium

Seperti yang telah dikemukakan pada tinjauan pustaka, mesin Atomisasi air ini digunakan untuk pembuatan serbuk logam, dalam hal ini serbuk Aluminium. Mesin ini terdiri dari pompa air, pemanas, wadah, tabung atomisasi dan nozel air (*Water Jets*). Pada metode atomisasi air ini serbuk yang dihasilkan akan berbeda tergantung pada kecepatan air yang menabrak aliran logam cair, tekanan air yang digunakan, sudut antara aliran air yang disemprotkan dengan aliran logam cair, jumlah nozel yang digunakan dan karakteristik dari logam yang akan dibuat serbuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan *rockwell* dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *rockwell con* di laboratorium bahan teknik, jurusan teknik mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* ini diatur berdasarkan standar DIN 50103. Pengujian kekerasan ini di uji menggunakan metode *Rockwell* skala C dengan indenter *diamond cone* (kerucut intan) dengan beban uji 153,2 Newton. Pengujian dilakukan dengan dua spesimen uji per komposisi dengan tiga titik uji kekerasan pengujian per spesimen. Adapun nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh pada tiap titik-titik pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada grafik dan tabel dibawah ini.



Gambar 2. Grafik hubungan kekerasan dengan komposisi.

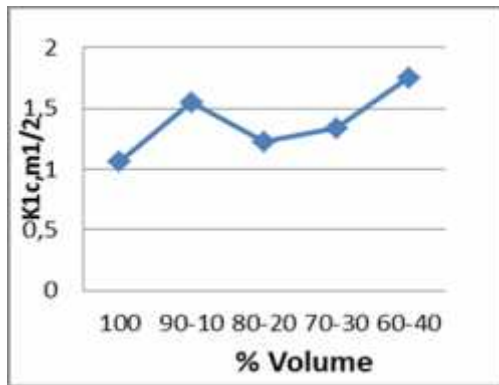
Nilai kekerasan rata-rata pada komposisi 100% AL_2O_3 adalah 17,66 HRc, dengan nilai kekerasan tertinggi adalah 18 HRc dan terendah 17 HRc. Pada komposisi 90% AL_2O_3 + 5% AL + 5% Cu nilai kekerasan rata-rata 41 HRc dengan nilai kekerasan tertinggi adalah 43 HRc dan terendah 40. Sedangkan pada komposisi 80% AL_2O_3 + 10% AL + 10% Cu nilai kekerasan rata-rata adalah 37,66 HRc dengan nilai kekerasan tertinggi adalah 40 HRc dan terendah 35 HRc. Pada komposisi 70% AL_2O_3 + 15% AL + 15% Cu nilai kekerasan rata-rata adalah 47,33 HRc dengan nilai kekerasan tertinggi adalah 48 HRc dan terendah 46 HRc. Pada komposisi 60% AL_2O_3 + 20% AL + 20% Cu nilai kekerasan rata-rata adalah 72,66 HRc dengan nilai kekerasan tertinggi adalah 75 HRc dan terendah 71 HRc.

Pembahasan

Kepadatan komposit setelah dikompaksi yang tidak homogen pada setiap bagian dapat menurunkan nilai kekerasan komposit dan menimbulkan kekosongan antar butir alumina yang menyebabkan kenaikan dan penurunan nilai kekerasan akibat mixing yang mungkin kurang homogen. Dari pengamatan tersebut, hasil pengujian kekerasan yang optimal dan komposisi terbaik adalah pada komposisi 60% Al_2O_3 + 20% Al + 20% Cu dengan nilai kekerasan tertinggi 75 HRc dan rata-rata kekerasan sebesar 72,66 HRc.

Hasil pengujian *fracture toughness* (K_{Ic})

.....
Pengujian *fracture toughness* (K_{Ic}) dilakukan dengan metode four poin bending, di Labor Teknik Mesin ITP. Dengan spsimen berbentuk balok dengan takikan 45° dan tinggi takikan 3 mm. Hasil pengujian K_{Ic} dapat dilihat pada grafik dan tabel 4.2 di bawah ini.



Gambar 3. Grafik hubungan K1c dengan komposisi.

Pembahasan dari hasil *fracture toughness*.

Ketangguhan adalah ketahanan suatu bahan terhadap penyebaran retak, sedangkan retak adalah cacat pada spesimen. Dari segi perpatahan dan retak pada logam, dapat dilihat dengan metode mekanika perpatahan peluluhan umum untuk mengukur tingkat ketangguhan pada beban yang tangguh dengan menggunakan spesimen yang kecil, karna spesimen yang kecil akan luluh sebelum patah.

Untuk itu juga diperlukan CTOD (*Crack Tip Opening Displacement*) yang mana kondisi lokal dari tegangan dan regangan pada ujung retak menyebabkan perpatahan adalah sama untuk spesimen kecil. behubungan dengan deformasi ujung retak yang diperlukan untuk terjadinya patah. Pengukuran ketangguhan juga tergantung pada pembatasannya yaitu: ukuran ketebalan spesimen dan tegangan regangan bidang (permukaan datar) dari pembahasan pengujian di atas, kita dapat beberapa hasil: semakin tinggi nilai kekerasan bahwa material akan semakin kuat, tapi nilai ketangguhan akan semakin turun, karena nilai ketangguhan retak (*fracture toughness*) merupakan gambaran seberapa besar ketahanan suatu material untuk menahan rambatan retak. Semakin besar nilai *fracture toughnessnya* berarti semakin baik material untuk menahan rambatan retaknya. Dalam pengujian ini juga bisa kita simpulkan bahwa semakin bertambahnya volume alumunium dan tembaga maka hasil *fracture toughness* akan semakin tinggi. Itu di sebabkan karena faktor pembelokan retaknya semakin tinggi .

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Nilai kekerasan rata-rata pada komposisi 100% Al₂O₃ adalah 17,66 HRc, dan pada 90% Al₂O₃ + 5% Al + 5% Cu nilai kekerasan 41 HRc, dan pada 80% Al₂O₃ + 10% Al + 10% Cu nilai kekerasan yang didapat 37,66 HRc, dan pada 70% Al₂O₃ + 15% Al + 15% Cu nilai kekerasan yang didapat 47,33 HRc, pada 60% Al₂O₃ + 20% Al + 20% Cu nilai kekerasan yang didapat 72,66 HRc.
2. Nilai K1c rata-rata pada komposisi 100% Al₂O₃ adalah 1,062 MPa.m^{1/2}, dan pada 90% Al₂O₃ + 5% Al + 5% Cu nilai K1c 1,551 MPa.m^{1/2}, dan pada 80% Al₂O₃ + 10% Al + 10% Cu nilai K1c yang didapat 1,227 MPa.m^{1/2}, dan pada 70% Al₂O₃ + 15% Al + 15% Cu nilai K1c yang didapat 1,335 MPa.m^{1/2}, pada 60% Al₂O₃ + 20% Al + 20% Cu nilai K1c yang didapat 1,755 MPa.m^{1/2}.
3. Nilai kekerasan dan K1c yang optimal dan tertinggi didapat pada variasi komposisi 60% Al₂O₃ + 20% Al + 20% Cu dengan nilai kekerasan rata-rata 76,83 HRc dan K1c sebesar 1,755 MPa.m^{1/2}.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://www.scribd.com/doc/25300537/> Makalah - Aluminium, 2010.
- [2] F.L. Matthews dan R. D. Rawlings, Composite Materials Engineering and Science B.J.M Beumer Ing, 1994, Ilmu Bahan Logam, Jilid 1, Bhatara. Jakarta.
- [3] R.E. Smallman. R.J. Bishop. Metalurgi Fisik Modren dan Rekayasa Material. Edisi Keenam Erlangga.
- [4] Nofriadi, 2010. Pengaruh Penambahan Serbuk Aluminium Terhadap Relative Density Komposit (Baja-Aluminium), Tugas Akhir Institut Teknologi Padang,

- [5] Ambar, 1997. "Pengetahuan Keramik", Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [6] Deni Aprianto, 2010. "Pengaruh Penambahan Silica RHA Terhadap Kekuatan Bending". Tugas Akhir, Institut Teknologi Padang.
- [7] Rusianto Toto, 2005. Pengaruh Kadar TiO₂ Terhadap Kekuatan Bending Komposit Serbuk Al/TiO₂, Jurnal Teknik Mesin Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- [8] ASTM, 1991 Metals Physical, Mechanical and Cor Testing, ASTM,
- [9] W.O. Alexander, G.J. Davies, S. Heslop, K.A. Reynolds, V.N. Whittaker, disunting oleh E.J. Bradbury. 1990. Dasar Metalurgi Untuk Rekayasawan. Gramedia Jakarta.
- [10] Hasbullah, 2010. Analisa kekerasan dan Struktur Makro Komposit Baja-Tembaga Pustaka ITP Padang.
- [11] Eky Mulya Saputra, 2010. Pengaruh Penambahan Serbuk Tembaga Terhadap Relative Density Komposit (Baja-Tembaga), Pustaka ITP Padang.