

PENGEMBANGAN KOMPOSISI MATERIAL PADA PEMBUATAN *PLAIN BEARING INTERNAL COMBUSTION ENGINE (ICE)* DENGAN MEMODIFIKASI KOMPOSISI AL-SI-CU-SN

Sunyoto¹⁾, Haris Rudianto²⁾, Iwan Setyawan³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gunadarma

Email: ¹⁾sunyoto@staff.gunadarma.ac.id, ²⁾harisrudianto@staff.gunadarma.ac.id,

³⁾iwan_s@staff.gunadarma.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan *plain bearing* di bidang otomotif umumnya digunakan pada mesin pembakaran dalam atau *Internal Combustion Engine (ICE)* tepatnya di bagian *connecting rod*. *Plain bearing* memiliki tiga komponen utama yaitu *inner ring*, *rolling element*, dan *outer ring*. *Outer ring* pada *bearing* adalah bagian yang dipasang pada housing dan tidak berputar. Fungsi *outer ring* pada *bearing* yaitu mendistribusikan kapasitas pembebanan radial dan aksial membantu mencegah terjadinya pergeseran atau vibrasi yang tidak diinginkan. Penelitian ini untuk mengetahui performen paduan Al-Si-Cu dengan menambahkan unsur Sn. *Plain bearing* yang biasa digunakan memiliki kandungan aluminium yang tinggi sehingga terjadi masalah yang ditemukan pada *bearing* dengan material tersebut yaitu memiliki performa koefisien gesek dan ketahanan terhadap keausan yang tidak optimal. Al-Si-Cu-Sn merupakan salah satu jenis paduan aluminium dengan *mechanical properties* seperti resistansi terhadap keausan yang sangat baik. Modifikasi material Al-Si-Cu-Sn yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan *plain bearing Internal Combustion Engine (ICE)* perlu dikembangkan. Material Al-Si-Cu-Sn dibuat melalui proses pengecoran dan dilakukan pengujian metalografi, pengujian SEM, pengujian XRD, pengujian kekerasan, dan *thermal analysis*. Hasil pengujian metalografi dan SEM pada paduan Al-Si-Cu-Sn dapat mengidentifikasi ikatan AlSiSn yang membuat material paduan memiliki sifat yang ulet serta tahan korosi. Pengujian XRD menunjukkan bahwa *peak* tertinggi ada pada unsur aluminium. Pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 12.52 HRB. Dari pengujian metalografi yang dilakukan teridentifikasi ikatan AlSiSn mempunyai bentuk seperti jarum, dan dalam pengujian XRD atom berbentuk struktur kristal. Penelitian ini menunjukkan dengan penambahan unsur Sn nilai keuletan bertambah tapi nilai kekerasan menurun.

Kata kunci : Al-Si-Cu-Sn., AlSiSn, koefisien gesek, *mechanical properties*, *Plain bearing*.

1. PENDAHULUAN

Setiap alat atau permesinan memiliki sistem mekaniknya yang bekerja untuk memenuhi suatu fungsi. Sistem mekanik merupakan kumpulan dari kompoen-komponen yang bekerja dengan cara mengubah *input* menjadi *output* yang diinginkan. *Input* pada sistem mekanik dapat berupa tenaga manusia, listrik, dan panas. *Output* dari sistem mekanik dapat berupa gerakan ataupun gaya yang dihasilkan oleh sistem mekanik tersebut.

Suatu sistem mekanik terdiri dari berbagai macam komponen yang bekerja secara bersama-sama seperti *gear*, *spring*, *shaft*, *pulley*, dan *bearig* [1].

Bearing merupakan salah satu komponen yang penting dalam sistem mekanik terutama pada alat atau mesin yang bekerja dengan memanfaatkan putaran. Fungsi *bearing* adalah untuk pembatas gerak relatif antara beberapa komponen mesin supaya pergerakannya sesuai dengan yang diinginkan. Salah satu

contoh penggunaan bearing sebagai penahanan atau pembatas gerak yaitu ketika dipasangkan dengan poros dan komponen lainnya agar tetap berada pada jalurnya. *Bearing* dapat dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan konstruksi atau mekanisme gesekan, berdasarkan arah bebannya, dan berdasarkan komponen elemen gelindingnya [2].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa macam *bearing* berdasarkan *rolling element* seperti *spherical roller bearing*, *fluid bearing*, *magnetic bearing*, *plain bearing* dan *ball bearing*. *Spherical roller bearing* menggunakan *roller* dengan bentuk *spherical* yang dapat mengakomodasi *misalignment*. *Fluid bearing* menggunakan fluida seperti oli atau minyak yang berada pada dua permukaan dalam *bearing* untuk mengurangi gesekan dan memungkinkan pergerakan yang halus. *Magnetic bearing* memanfaatkan levitasi magnetik untuk mendukung dan membantu poros berputar tanpa adanya kontak fisik. *Plain bearing* menggunakan prinsip *boundary lubrication* yaitu lapisan tipis minyak pelumas yang berada diantara *outer ring* dan *inner ring*. *Ball bearing* yang memanfaatkan bola-bola untuk memperhalus rotasi antara dua permukaan [3].

Umumnya, *bearing* memiliki tiga komponen utama yaitu *inner ring*, *rolling element*, dan *outer ring*. *Inner ring* pada *bearing* adalah bagian yang menyentuh dan berputar dengan poros. Bagian ini memiliki alur yang dapat meningkatkan pelumasan [4]. *Rolling element* atau elemen gelinding terletak di antara *inner ring* dan *outer ring* suatu *bearing* yang berfungsi untuk mengurangi gesekan dan memberikan dukungan beban. Bentuk *rolling element* dapat berupa bola, silinder, dan juga jarum sesuai dengan aplikasi dan beban pada bearing yang digunakan [5]. *Outer ring*

pada *bearing* adalah bagian yang dipasang pada housing dan tidak berputar. Bagian ini memiliki bentuk seperti cincin atau mangkuk dengan permukaan dalam yang bersentuhan langsung dengan *rolling element* atau komponen yang bergerak.

Outer ring memiliki beberapa fungsi yang disesuaikan dengan aplikasi suatu *bearing*. Beberapa fungsi *outer ring* pada *bearing* yaitu mendistribusikan kapasitas pembebanan radial dan aksial yang berbeda secara akurat, membantu mencegah terjadinya pergeseran atau vibrasi yang tidak diinginkan, membantu dalam penyusunan dan pemosisian elemen *bearing* secara presisi, memungkinkan pemantauan *bearing clearance* menggunakan tekanan film sebagai ukuran, dan mengurangi keausan yang dihasilkan selama operasi [6].

Setiap komponen pada *ball bearing* dan *plain bearing* seperti *inner ring*, *rolling element*, dan *outer ring* dapat dibuat dari material yang berbeda-beda. Pemilihan material pada tiap komponen akan disesuaikan dengan kebutuhan atau fungsi *ball bearing* dan *plain bearing* tersebut. Material yang biasanya dipakai seperti baja, aluminium, keramik, dan material komposit. Masing-masing material memiliki karakteristik tersendiri. Baja digunakan karena memiliki kekuatan, kekerasan, dan ketahanan aus yang baik. Aluminium digunakan pada bearing karena memiliki rasio kekuatan-ke-berat yang tinggi. Keramik digunakan karena kemampuan suhu tinggi yang sangat baik, ketahanan korosi, dan kepadatan rendah. Material komposit digunakan karena kekuatan tinggi, gesekan rendah, dan ketahanan aus yang baik tergantung dari campuran materialnya [7].

Pemilihan material pada *bearing* diperlukan pengujian khusus untuk mengetahui sifat dari material tersebut dan

apakah sudah memenuhi dengan syarat yang diberlakukan pada suatu *bearing*. Pada umumnya *bearing* yang dijual di pasaran menggunakan bahan dasar seperti baja dan *aluminium alloy* yang campuran umumnya yaitu silicon, tembaga, dan timah. Pemilihan komposisi material memiliki pengaruh yang sangat besar dalam pembuatan *bearing*. Komposisi material akan disesuaikan dengan fungsi dan kondisi spesifik yang dimiliki oleh setiap komponen *bearing* yaitu *inner ring*, *rolling element*, dan *outer ring*. Komponen *outer ring* pada *plain bearing* membutuhkan material yang tahan aus, ketahanan terhadap korosi, kemampuan untuk berinteraksi dengan beberapa pelumas, dan sifat mampu mesin yang baik. *Outer ring* pada *ball bearing* membutuhkan material dengan ketahanan terhadap keausan, sifat gesekan yang rendah, kekuatan mekanis yang cukup tinggi, dan memiliki stabilitas termal yang baik [8].

Penggunaan *plain bearing* di bidang otomotif umumnya digunakan pada mesin pembakaran dalam atau *Internal Combustion Engine* (ICE) tepatnya di bagian *connecting rod*. *Internal Combustion Engine* (ICE) dengan spesifikasi modern memerlukan *bearing* yang mampu bekerja dengan baik pada kondisi dengan pembebanan statis dan dinamis tanpa terjadi keausan yang berlebih. *Plain bearing* yang biasa digunakan memiliki kandungan aluminium yang tinggi sehingga terjadi masalah yang ditemukan pada *bearing* dengan material tersebut yaitu memiliki performa koefisien gesek dan ketahanan terhadap keausan yang tidak diinginkan [9]. Al-Si-Cu-Sn merupakan salah satu jenis paduan aluminium dengan *mechanical properties* seperti kekerasan yang cukup tinggi, mempunyai *fatigue strength*, resistansi terhadap keausan yang sangat baik, dan koefisien gesek yang cukup rendah [10].

Dengan demikian, perlu adanya penelitian pengembangan komposisi material yang akan digunakan untuk pembuatan *plain bearing* pada *Internal Combustion Engine* (ICE) dengan memodifikasi komposisi Al-Si-Cu-Sn.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen laboratorium. Pembuatan paduan material Al-Si-Cu-Sn menggunakan teknik *casting* atau pengecoran dengan metode *semi solid casting*. Persentase paduan Al-Si-Cu-Sn ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase Paduan Al-Si-Cu-Sn

| No. | Unsur | Persentase |
|-----|-----------|------------|
| 1. | Aluminium | 81% |
| 2. | Silicon | 9% |
| 3. | Tembaga | 4.5% |
| 4. | Timah | 5% |

Pengujian spesimen yang dilakukan adalah pengujian metalografi, pengujian SEM, pengujian XRD dan kekerasan untuk semua spesimen uji.

Pengujian metalografi dilakukan pada spesimen yang sudah melalui proses pengetsaan. Pengujian ini menggunakan *optical microscopy* (OM) dan aplikasi AMScope. Langkah pertama pengujian metalografi adalah menyalakan mikroskop cahaya dan mengatur intensitas cahayanya. Spesimen uji akan ditempatkan di meja objek dan dipastikan bahwa spesimen uji berada tepat di atas lensa objektif yang akan digunakan. Setelah itu, pengaturan fokus dan pembesaran pada lensa dan memastikan bahwa spesimen sudah terlihat jelas pada aplikasi AMScope.

Pengujian SEM merupakan pengujian yang menggunakan elektron yang dipancarkan pada permukaan spesimen uji untuk menghasilkan gambar permukaan

dengan resolusi tinggi. Hasil dari pengujian ini akan menampilkan struktur mikro material spesimen uji, morfologi permukaan, dan analisis ukuran partikel.

Pengujian XRD merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengidentifikasi fasa kristal dalam material dan menentukan struktur kristalnya. Prinsip kerja dari pengujian XRD adalah pengarahan sinar-X pada daerah yang sangat kecil pada sampel, yang kemudian menghasilkan pola difraksi pada skala mikro.

Pengujian kekerasan menggunakan metode *rockwell* dengan standar ASTM E18-15 menggunakan skala B dengan indenter bola baja Ø 1/16" pada 5 titik indentasi dengan pem-bebanan seberat 100 kgf. Mesin uji kekerasan yang dipakai Mitutoyo HR-430 MR.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.

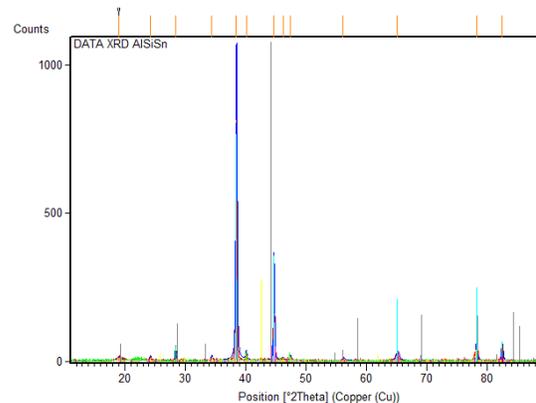
Plain bearing yang digunakan sebelumnya menggunakan paduan Al-Si-Cu dengan karakteristik yaitu memiliki nilai kekerasan yang cukup baik, tahan terhadap panas, mudah diproses, dan memiliki bobot yang ringan. Paduan tersebut juga memiliki beberapa kekurangan seperti performa koefisien gesek dan ketahanan aus yang kurang optimal. Material paduan Al-Si-Cu-Sn diuji untuk mengetahui fasa yang terbentuk, struktur mikro, struktur kristal. Modifikasi pada material Al-Si dengan penambahan Timah (Sn) dilakukan untuk memperbaiki sifat pada material yang akan digunakan dalam pembuatan *plain bearing*.

4.1. Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan dilakukan pada spesimen dalam bentuk ingot hasil dari pengecoran dengan tujuan untuk mengetahui komposisi kimia dan struktur kristal dari spesimen uji. Parameter yang digunakan pada pengujian

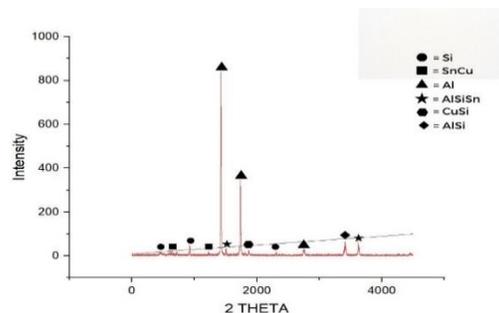
ini adalah scan sudut $2\theta = 10^\circ-90^\circ$ dan *scan speed* 0,5/menit.

Hasil pengujian XRD diperoleh dengan mendifraksikan sinar-X pada spesimen uji dan hasil pengujian diperoleh dalam bentuk data yang berisi mengenai komposisi unsur campuran, kemudian data tersebut diolah dan disajikan dalam bentuk gambar seperti yang terlihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar1. Data XRD Pada Material Al-Si-Cu-Sn

Berikut merupakan hasil pengolahan dengan software X'pert Highscore Plus yang dikonversi menjadi sebuah diagram dengan menggunakan software OriginPro yang dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Pengolahan Data XRD Material Al-Si-Cu-Sn

Dari hasil pengolahan data di atas, peak tertinggi yang selalu muncul adalah aluminium. Hal ini dikarenakan aluminium merupakan unsur utama dan dominan (base) pada campuran material yang digunakan. Sementara unsur Silicon (Si), Tembaga (Cu),

dan Timah (Sn) berfungsi sebagai stabilisator dari unsur aluminium. Dengan adanya Cu pada paduan Al-Si-Cu-Sn membuat paduan tersebut memiliki modulus young atau modulus elastisitas yang rendah. Penambahan 5% Sn pada paduan Al-Si-Cu-Sn juga mempengaruhi sifat mekanis dan sifat kimia. Pada umumnya, penambahan timah (Sn) pada paduan Aluminium Silicon (AlSi) membuat paduan tersebut memiliki nilai yang sedikit lebih keras namun pada sifat kimianya, membuat paduan ini menjadi lebih tahan korosi dan aus. Hal ini terlihat pada data XRD di atas, dengan diidentifikasinya peak pada fasa AlSiSn di beberapa sudut difraksi.

Berdasarkan hasil pengolahan data pada paduan material Al-Si-Cu-Sn, menunjukkan beberapa bentuk ikatan seperti SnCu, CuSi, AlSi, dan AlSiSn. Ikatan-ikatan tersebut memiliki puncak atau peak yang berbeda berdasarkan data yang sudah diolah. SnCu memiliki titik puncak tertinggi pada sudut difraksi 35.57° . CuSi memiliki titik puncak tertinggi pada sudut difraksi 47.43° . AlSi memiliki titik puncak tertinggi pada sudut difraksi 78.48° . AlSiSn memiliki titik puncak tertinggi pada sudut difraksi 40.12° . Puncak atau peak yang ditunjukkan pada gambar di atas dapat mengidentifikasi apakah unsur yang terdeteksi memiliki bentuk kristal atau amorf. Terlihat pada puncak-puncak yang tajam dan teratur seperti pada Al, AlSiSn, dan AlSi memiliki struktur kristal. Pada puncak-puncak atau *peak* yang tidak tajam dan teratur seperti SnCu dan Si dapat dikatakan memiliki struktur amorf.

Ikatan-ikatan yang sudah teridentifikasi tersebut berpengaruh pada sifat yang dimiliki pada paduan Al-Si-Cu-Sn. Pengaruh dari SnCu yang terbentuk adalah konduktivitas termal, ketahanan terhadap korosi, dan ketahanan terhadap keausan yang dimiliki paduan akan meningkat. CuSi yang teridentifikasi memiliki pengaruh pada

sifat keuletan dan sifat mampu cor yang dimiliki oleh paduan Al-Si-Cu-Sn. Ikatan Al-Si akan berpengaruh pada sifat mampu cor dan konduktivitas termal. AlSiSn yang terbentuk akan berpengaruh pada sifat keuletan dan memperbaiki koefisien gesek pada paduan Al-Si-Cu-Sn. Sifat-sifat yang disebutkan juga bergantung pada bentuk, ukuran, dan homogenitas distribusi partikel yang terbentuk.

4.2. Pengujian Metalografi

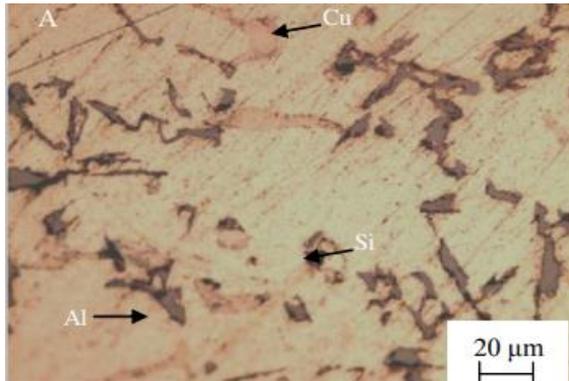
Hasil pengujian metalografi pada material Al-Si-Cu-Sn dan Al-Si masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Mikro Al-Si-Cu-Sn Pada Perbesaran x500

Pada pengujian material Al-Si-Cu-Sn, dapat dilihat bahwa beberapa unsur yang dapat diidentifikasi pada hasil pengujian metalografi yaitu Al, SiSn, dan Cu serta ada beberapa porositas yang terlihat. Pada pengujian metalografi ini bertujuan untuk mengetahui batas butir dan sedimentasi yang terbentuk antara unsur Al-Si-Cu-Sn. Unsur-unsur tersebut dapat diidentifikasi berdasarkan morfologi bentuk yang terlihat. Bagian yang memiliki bentuk seperti jarum merupakan SiSn. Bagian yang berbentuk bintik-bintik atau titik merupakan unsur Cu. Bagian yang berwarna hitam pekat merupakan porositas dan bagian yang berwarna putih merupakan unsur Aluminium. Perbedaan yang sangat terlihat, terjadi pada unsur Silicon (Si) yang terikat dengan unsur timah atau *stannum* (Sn). Umumnya morfologi pada silicon berbentuk

bulat namun karena terdapat unsur timah maka terjadi perubahan bentuk menjadi seperti jarum atau garis tipis. Bentuk yang menyerupai jarum tersebut merupakan ikatan baru yaitu SiSn. Ikatan tersebut mempengaruhi sifat keuletan dan koefisien gesek yang dimiliki Al-Si-Cu-Sn.

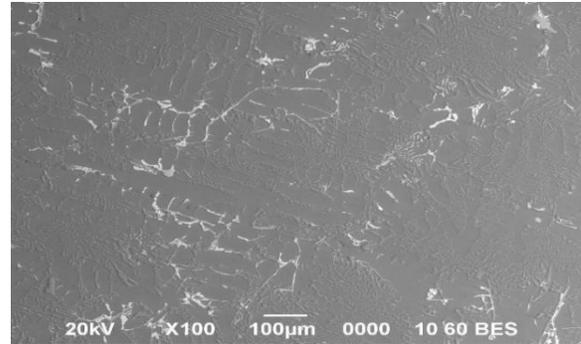


Gambar 4. Struktur Mikro Al-Si-Cu

Dapat dilihat pada Gambar 4 struktur mikro pada paduan Al-Si dengan perbesaran 50x. Bagian putih merupakan Aluminium (Al), sedangkan bagian yang berwarna gelap dengan bentuk seperti bulat merupakan Silicon (Si). Unsur Tembaga (Cu) teridentifikasi dengan bentuk titik kecil pada permukaan aluminium.

4.3. Pengujian *Scanning Electron Microscopy*

Pada pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) bertujuan untuk melihat morfologi permukaan yang lebih teliti karena bisa ribuan kali pembesarnya. Pada pengujian SEM yang dilakukan pada material Al-Si-Cu-Sn, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengujian SEM

Hasil pengamatan struktur mikro pada material Al-Si-Cu-Sn menggunakan metode pengujian SEM kali ini dapat dilihat dengan pembesaran 100x. Dari hasil uji SEM pada paduan Al-Si-Cu-Sn dapat dianalisa bahwa terdapat unsur dari Aluminium (Al), Silicon (Si), Tembaga (Cu), dan juga Timah (Sn). Aluminium merupakan penyusun utama dari sampel yang diuji atau bisa disebut juga dengan base. Morfologi dari unsur silicon berbentuk menyerupai jarum yang tidak beraturan serta berwarna gelap. Morfologi dari unsur tembaga berukuran kecil seperti titik dan berwarna terang. Morofologi dari unsur timah tidak beraturan seperti serabut-serabut kecil dan berwarna terang.

Dapat terlihat dari gambar SEM di atas, bahwa unsur silicon menyatu dengan unsur timah dengan persebaran yang luas dengan bentuk yang menyerupai serabut-serabut halus. Hal ini menandakan terjadinya pembentukan ikatan SiSn pada paduan Al-Si-Cu-Sn. Unsur tembaga yang terlihat dengan bentuk titik yang berwarna terang pada area aluminium sehingga dapat diidentifikasi bahwa terjadi pretisipasi Al_2Cu .

4.4. Pengujian Kekerasan

Berikut adalah hasil dari pengujian kekerasan yang dilakukan pada material Al-Si-Cu-Sn menggunakan mesin Mitutoyo HR-430MR dengan metode *Rockwell*. Data hasil pengujian kekerasan ditampilkan pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan Al-Si-Cu-Sn

| SAMPLE CODE | INDENTATION | HARDNESS VALUE | AVERAGE | REMARKS |
|---------------------|-------------|----------------|-----------|----------------|
| Al-Si-Cu-Sn (5 wt%) | 1 | 11,9 | 12,52 HRB | 100 kgf (LOAD) |
| | 2 | 14,2 | | |
| | 3 | 10,3 | | |
| | 4 | 19,5 | | |
| | 5 | 6,7 | | |

Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan Al-Si-Cu

| SAMPLE CODE | INDENTATION | HARDNESS VALUE | AVERAGE | REMARKS |
|-------------|-------------|----------------|--------------------|----------------|
| Al-Si-Cu | 1 | 68 | 67 BHN = 32,91 HRB | 150 kgf (LOAD) |
| | 2 | 66 | | |
| | 3 | 64 | | |
| | 4 | 67 | | |
| | 5 | 70 | | |

Dari pengujian kekerasan menggunakan metode *Rockwell* yang dilakukan, didapatkan data nilai kekerasan pada material Al-Si-Cu-Sn. Pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM E18-15 menggunakan skala B dengan indentor bola baja Ø 1/16" pada 5 titik indentasi dan pembebanan seberat 100 kgf. Nilai kekerasan yang didapatkan yaitu sebesar 12,52 HRB. Pada Tabel 2 hasil uji kekerasan dari material Al-Si-Cu mendapatkan nilai rata-rata kekerasan sebesar 32.91 HRB. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan Timah (Sn) pada nilai kekerasan paduan aluminium silicon akan mengurangi nilai dari kekerasan pada paduan aluminium silicon. Dengan nilai kekerasan yang didapatkan, dapat dibuktikan bahwa penambahan timah (Sn) pada paduan Aluminium (Al-Si) memberikan sifat ulet pada material tersebut.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Fasa yang terbentuk pada pada paduan Al-Si-Cu berdasarkan hasil dari pengujian XRD yaitu SnCu, AlSiSn, CuSi, dan AlSi serta beberapa unsur

penyusun yaitu Aluminium (Al), Silikon (Si), dan Timah (Sn). SnCu memiliki titik puncak tertinggi pada sudut difraksi 35.57°. CuSi memiliki titik puncak tertinggi pada sudut difraksi 47.43°. AlSi memiliki titik puncak tertinggi pada sudut difraksi 78.48°. AlSiSn memiliki titik puncak tertinggi pada sudut difraksi 40.12°.

2. Struktur mikro yang dapat terlihat berdasarkan pengujian metalografi dan pengujian SEM yang telah dilakukan yaitu SnSi dengan bentuk yang menyerupai jarum atau garis yang tipis. Bentuk ikatan ini akan mempengaruhi sifat paduan Al-Si-Cu-Sn terutama pada sifat keuletan, sifat ketahanan terhadap korosi serta sifat tahan aus. Selain itu, dapat terlihat juga unsur Tembaga (Cu) dengan bentuk seperti titik dan Aluminium (Al) sebagai unsur dominan dengan warna silver.

3. Dari pengujian kekerasan menggunakan metode *Rockwell* yang dilakukan, didapatkan data nilai kekerasan pada material Al-Si-Cu-Sn. Pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM E18-15 menggunakan skala B dengan indentor bola baja Ø 1/16" pada 5 titik indentasi dan pembebanan seberat 100 Kgf. Nilai kekerasan yang didapatkan yaitu sebesar 12,52 HRB. Hasil uji kekerasan dari material Al-Si-Cu mendapatkan nilai rata-rata kekerasan sebesar 32.91 HRB. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan Timah (Sn) pada nilai kekerasan paduan aluminium silicon akan mengurangi nilai dari kekerasan pada paduan aluminium silicon. Dengan nilai kekerasan yang didapatkan, dapat dibuktikan bahwa penambahan timah (Sn) pada paduan Aluminium (Al-Si) memberikan sifat ulet pada material tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Mechanical system". Encyclopedia Britannica, 3 Aug. 2011, <https://www.britannica.com/technology/mechanical-system>. Accessed 28 May 2023.
2. K. Gopinath, M.M. Mayuram. "Machine Design II Module 2 – GEARS Lecture 1 – INTRODUCTION. Indian Institute of Technology Madras.
3. Wright, Douglas. "Introduction to Springs". Springs, Notes on Design and Analysis of Machine Elements. Dept. of Mechanical & Material Engineering. University of Western Australia.
4. D. Yuhani, S. Djoko. 2014. Jurnal Mekanikal Teknik Mesin S-1 FTUP Vol. 10 No.1. UPN "Veteran" Jakarta. Jakarta Selatan.
5. I. Falikhul, W. Elbi. 2022. "Perancangan Poros Pada Mesin Pengurai Limbah Kelapa Muda". Jurnal Inovasi Penelitian. Vol. 2 No. 12
6. R. Febbie. 2019. "Proses Pembuatan Sistem Transmisi Pada Knife Grinding Machine". Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
7. H. Sigit, Jamari. 2012. "Studi Karakteristik Hidrodinamika Pada *Slider Bearing* Dengan Permukaan Slip dan/atau Permukaan Bertekstur". Universitas Diponegoro. Semarang.
8. D. Hendery, S. Rahmi, R. Meifal, B. Mulyadi. 2023. "Pengaruh *Clearance* Dan Pembebanan Radial Terhadap Perpindahan, Distribusi Beban Kontak, Dan Kekakuan Elemen Rol Pada Spherical Roller *Bearing*". Universitas Brawijaya, Malang.
9. R. Bigret. 2001. "Encyclopedia of Vibration". University of Michigan.
10. P. Mihir. 2018. "Analysis of Active Magnetic Bearings". Virginia Polytechnic Institute.