

KARAKTERISTIK MEKANIS TEMBAGA HASIL PENGECORAN DENGAN VARIASI WAKTU *FASE SOLIDIFIKASI*

Rudianto⁽¹⁾, Kusno Kamil⁽²⁾, Moh Halim Asiri⁽²⁾

¹⁾Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia.

²⁾Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia.

ABSTRAK

Pengecoran logam adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam cetakan segi empat. Adapun teknik pengumpulan data dengan pengujian specimen yang dimana peneliti peleburan tembaga dan uji kekerasan dilakukan di laboratorium Hasanuddin dan pengujian SEM di laboratorium struktur mikro Universitas Muslim Indonesia. Serta menggunakan tembaga. Jenis tembaga yang digunakan adalah tembaga yang dijual di Makassar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode untuk mengetahui butiran partikel nano pada tembaga setelah melalui peleburan tembaga menggunakan *furnace*, alat uji kekerasan *Hardnes* dan alat uji SEM dengan menggunakan alat bantu software Origin versi 2016. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah dilakukan pengujian mekanis maka perbedaan pada kekuatan hasil uji kekerasan dan struktur mikro. Bahwa dari beberapa specimen uji kekerasan titik terbesar terjadi pada specimen Tembaga pemanasan Cu 300°C 41,9 N/mm² di sebabkan semakin tinggi di beri perlakuan panas maka tingkat kekerasannya menurun. Namun pada hasil pengujian struktur mikro terlihat bahwa tingkat kekerasan di mulai pada tembaga normal 88,99% sampai Cu 300°C 27,04% sedangkan Cu 400°C 56,96% sampai dengan Cu 500°C 78,03% terlihat pada saat pengamatan pada gambar bahwa butiran-butiran partikel menyatu dengan butiran pada sekitar dan menjadi lebih solid.

Kata Kunci : *Pengecoran, Tembaga, pengujian kekerasan, dan struktur mikro.*

1. PENDAHULUAN

Pengolahan dan pemanfaatan logam dalam perkembangannya terhitung sejak zaman dahulu lamanya, dimana saat manusia mulai menemukan tembaga dan mengolahnya dalam keadaan murni di alam. Tembaga dalam penggunaannya dimanfaatkan dan diolah dalam bentuk-bentuk tertentu dengan cara ditempa ataupun di proses dengan cara lain. Tembaga sebagai susunan utama merupakan salah satu material yang biasa digunakan untuk pengecoran. Penggunaan tembaga hingga saat ini terus mengalami peningkatan

perkembangan dengan berbagai fungsi dan kegunaan antara lain sebagai bahan baku pembuatan peralatan rumah tangga, perkakas, alat-alat musik dan barang-barang hingga kerajinan.

Salah satunya ialah bidang pengolahan logam yang berupa proses produksi atau pengecoran, yang sampai saat ini banyak digunakan pada komponen-komponen produksi yang siap pakai. Sektor industri ini menangani pemanfaatan logam mulai dari pengolahan logam hingga barang jadi. Tembaga adalah unsur kimia dengan simbol Cu (dari bahasa Latin : *cuprum*) dan nomor

atom 29. Ini adalah logam ulet serta tinggi termal dan konduktivitas listrik. Tembaga murni lembut dan lunak; permukaan baru terkena memiliki warna kemerahan-oranye. Hal ini digunakan sebagai konduktor panas dan listrik, bahan bangunan, dan konstituen dari berbagai logam paduan. Logam dan paduannya telah digunakan selama ribuan tahun. Di era Romawi, tembaga terutama ditambang di Siprus, maka asal-usul nama logam sebagai cyprium (logam Siprus), kemudian disingkat menjadi cuprum. Senyawa yang biasa ditemui tembaga (II) garam, yang sering menyampaikan warna biru atau hijau untuk mineral seperti azurite dan pirus dan telah banyak digunakan secara historis sebagai pigmen. Struktur arsitektur dibangun dengan korosi tembaga untuk memberikan hijau verdigris (atau patina). Sifat mekanik logam setiap bahan memiliki sifat yang berbeda-beda mulai dari sifat fisis, sifat mekanis dan sifat kimiawi. Sifat mekanis material salah satunya adalah kekerasan. Pengujian sifat mekanis material dapat dilakukan dengan banyak cara, salah satunya adalah heat treatment logam mengalami proses pemanasan, logam akan mengalami pendinginan lama dengan suhu normal pada ruangan menurut penelitian (Pertiwi et al. 2015).

Pengertian pengerasan ialah perlakuan panas terhadap logam dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami logam. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan dan pendinginan secara lambat dengan kecepatan pendinginan lama. Faktor penting yang dapat mempengaruhi proses hardening terhadap kekerasan logam yaitu pendinginan cepat dari daerah suhu pengerasan. Pencegahan kontak dengan udara selama pemanasan atau hardening dapat dilakukan dengan jalan menambah temperatur yang tinggi karena bahan yang terdapat dalam logam akan bertambah kuat terhadap kekerasan. Jadi, semakin tinggi

temperatur, maka semakin ulet tembaga. Bila bentuk benda tidak teratur, benda harus dipanaskan perlahan-lahan agar tidak mengalami distorsi atau retak. Makin besar potongan benda, makin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil pemanasan yang merata. Pada perlakuan panas ini, panas merambat dari luar kedalam dengan kecepatan tertentu. Bila pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam sehingga dapat diperoleh struktur yang merata. Menurut penelitian oleh (Haryadi. Gunawan Dwi 2006).

A. Logam Paduan

Bila logam dibuat dalam bentuk campuran dengan logam lain, maka ada tiga bentuk campuran yang dapat terjadi, yaitu:

1. Campuran mekanik (*mechanical mixture*), yaitu suatu logam yang bercampur masing-masing dalam prosen tertentu, tetapi tidak terjadi senyawa atomic, sehingga masing-masing logam masih memiliki sifat aslinya
2. Larutan Padat (*Solid solution*), yaitu suatu campuran logam dimana terjadi senyawa *atomic*, atau dengan kata lain, logam yang satu larut dalam logam yang lain. Bentuk kelarutan ini adalah kelarutan *atomic*, dan dapat terjadi dalam 3 bentuk, yaitu:
3. Kelarutan substitusi (*Substitutional solution*), dimana atom-atom logam pepadu menempati posisi atom logam induk dalam kisi (*lattice*) secara sembarang. Kelarutan interstisi, yaitu kelarutan dimana atom-atom logam pepadu menempati celah diantara kisi-kisi atom logam induk secara sembarang. Kelarutan tembaga, Hidrogen, Nitrogen, Alkali dan Boroine umumnya dalam bentuk interstisi. Senyawa intermetalik, yaitu kelarutan dimana atom-atom logam

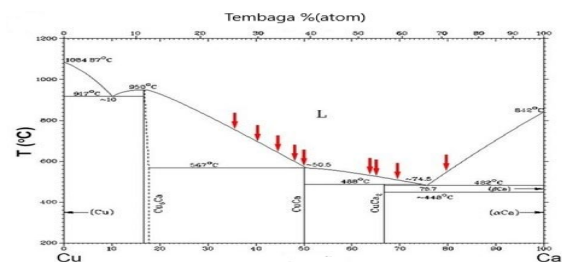
pemadu menempati posisi atom-atom logam induk secara teratur dalam porsi tertentu.

B. Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan salah satu logam yang paling penting di dunia dan diolah dalam keadaan murni, dalam bentuk campuran-campuran dan sebagai elemen tambahan untuk mengubah sifat dari logam yang lain. Tembaga adalah logam yang mempunyai sifat lunak dan liat, penghantar panas dan listrik yang baik, memiliki kesiapan untuk membentuk campuran-campuran, lebih merata pada waktu pendinginan, dapat dikerjakan dalam keadaan panas maupun dingin, memiliki ketahanan terhadap efek-efek korosi dari udara melalui formasi dari suatu lapisan oksida karena terjadinya lapisan pelindung yang berwarna hijau, yaitu $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$, oleh sebab itu tembaga sangat berguna untuk pengerjaan perubahan bentuk dan antara lain dipergunakan untuk gelang paking. Kekuatan tarik tembaga kira-kira 200 N/mm^2 lebih dari logam yang lain, tembaga mempunyai kekuatan-tarik yang lebih besar pada suhu yang lebih rendah Tembaga didapat di alam ini sebagai batuan, biasanya sebagai karbonat (Cu CO_3) dan merupakan sulfida kompleks Cu Fe S_2 dan Cu Fe S . Batuan-batuan tadi dihancurkan menjadi kecil-kecil kemudian diolah untuk memisahkan campuran-campuran di dalamnya. Tembaga dari bijih-bijih tembaga tersebut, antara lain: Koperkies (CuFeS_2) yang mengandung $\pm 34\%$ tembaga, Kilap tembaga (Cu_2S) yang mengandung $\pm 79\%$ tembaga, Malasit ($\text{Cu CO}_3(\text{OH})_2$) yang mengandung $\pm 57\%$ tembaga menurut (Purwiyanto 2013)

C Diagram Fasa

Diagram fasa adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar tembaga. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semu operasi – operasi perlakuan panas. Menurut penelitian oleh (Zhang and Wang 2020) Treatment Principles disebutkan bahwa diagram fasa adalah grafik yang digunakan untuk menunjukkan kondisi kesetimbangan antara fase-fase yang berbeda dari zat yang sama. Diagram fasa berfungsi untuk memudahkan memilih temperatur pemanasan yang sesuai untuk setiap proses perlakuan panas baik proses anil, *normalizing* maupun proses pengerasan. Perlakuan panas bertujuan untuk memperoleh struktur mikro dan sifat yang diinginkan. Struktur mikro dan sifat yang diinginkan dapat diperoleh melalui proses pemanasan dan proses pendinginan pada temperatur tertentu. Diagram fase terdiri dari garis kesetimbangan, garis yang menandakan terjadinya transisi fase. Komponen lainnya adalah titik *triple*, titik potong dari garis-garis kesetimbangan antara tiga fase benda, biasanya padat, cair, dan



gas. Diagram fasa ini terbagi atas 2 jenis yaitu diagram fasa 2D dan diagram fasa 3D. Pada diagram fasa dikenal berbagai struktur pada material khususnya tembaga. Di bawah ini adalah gambar diagram fasa.

Gambar 1. Diagram Fasa Tembaga

D. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Pengujian yang paling banyak dipakai adalah dengan melakukan penekanan tertentu pada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekanan yang terbentuk di atasnya, cara ini dinamakan cara kekerasan penekanan. Selanjutnya ada cara dengan menjatuhkan bola dengan ukuran tertentu dari ketinggian tertentu di atas benda uji dan diperoleh tinggi pantulannya.

Ketiga metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, serta perbedaannya dalam menentukan angka kekerasannya. Metode *Brinell* dan *Vickers* memiliki prinsip dasar yang sama dalam menentukan angka kekerasannya, yaitu menitikberatkan pada perhitungan kekuatan bahan terhadap setiap daya luas penampang bidang yang menerima pembebanan tersebut. Sedangkan metode *Rockwell* menitikberatkan pada pengukuran kedalaman hasil penekanan atau penekan (indenter) yang membentuk bekasnya (indentasi) pada benda uji.

Metode pengujian yang akan digunakan adalah metode penekanan *Rockwell*

Uji Rockwell

menggunakan indenter berbentuk kerucut intan dengan sudut 120° dengan ujung yang agak bulat. Prinsip kekerasan logam didasarkan pada dalamnya bekas penekanan kerucut atau bola baja yang masuk kedalam logam dengan beban tertentu. Kerucut intan dan bola yang sering digunakan adalah dengan diameter $1/16$, $1/8$, $1/4$, $1/2$ inch. Makin keras suatu logam yang akan diuji maka makin dangkal

masuknya bola baja atau kerucut intan, begitu pula sebaliknya karena pengukuran dalamnya penekanan terbatas pada kemampuan alat dan mengingat segi-segi praktis lainnya, maka dibuat dari skala-skala tertentu. Secara garis besar terbagi atas skala A, B, C.

Skala A : Digunakan pada pengukuran kekerasan logam yang sangat keras dengan menggunakan kerucut intan dengan beban 69kg.

Skal B : Digunakan pada pengukuran kekerasan logam yang agak lunak dengan menggunakan kerucut intan beban 100 kg.

Skala C : Digunakan pada pengukuran kekerasan logam yaitu baja yang telah dikeraskan dan menggunakan kerucut intan dengan beban 120 kg.

Uji kekerasan *Rockwell* ini paling banyak dipergunakan di Amerika Serikat. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu : cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkeras, dan ukuran lekukannya kecil sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas yang lengkap dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan. Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Metode pengujian kekerasan *Rockwell* yaitu mengindentasi material contoh dengan indenter kerucut intan atau bola baja. indenter ditekan ke material dibawah beban minor/terkecil pada umumnya 10 kgf. Ketika keseimbangan telah dicapai, suatu indikasi terlihat pada alat, yang mengikuti pergerakan indenter dan demikian bereaksi terhadap perubahan kedalaman penetrasi oleh indenter, ini merupakan angka posisi pertama. Beban

kedua atau beban utama ditambahkan tanpa menghilangkan beban awal, sehingga akan meningkatkan kedalaman penetrasi. Saat keseimbangan kembali tercapai, beban utama dihilangkan tetapi beban awal masih tetap diberikan. Dengan hilangnya beban utama maka akan terjadi *recovery* parsial dan terjadi pengurangan jejak kedalaman. Peningkatan kedalaman penetrasi akhir sebagai hasil aplikasi ini dan kehilangan beban utama digunakan untuk menentukan nilai kekerasan *Rockwell*

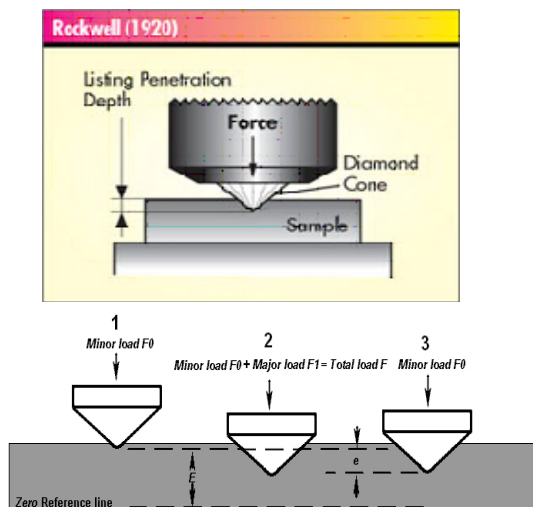
$$HR = E - e$$

Dengan :

E = Kostanta nilai 130 pada indentor bola dan 100 pada indentor intan

e = Nilai kedalaman penetrasi yang di berikan beban utama (F_1) dengan satuan 0,0002 mm

HR = Angka kekerasan *Rockwell* (*HardnessRockwell*)



Gambar 2. Uji *Rockwell*

E. Pengujian SEM

Metalografi adalah suatu metode untuk menyelidiki mikro struktur material dengan menggunakan sinar laser untuk mengamati partikel nano pada sampel/material. Alat ini berfungsi untuk mengamati dan mengambil

gambar struktur pada permukaan logam atau spesimen nantinya akan memantulkan kembali sinar yang datang dari lensa mikroskop elektron dengan warna yang berbeda pada tiap bagian permukaan akibat pengikisan pada permukaan specimen kemudian kamera yang tersambung dengan monitor akan menangkap dan menyimpan gambar struktur mikro.

Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro diantaranya : mikroskop cahaya, mikroskop electron, mikroskop field on, mikroskop field emission dan mikroskop sinar-X. Adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah:

- a) Mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan.
- b) Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

Persiapan dilakukan sebelum mengamati struktur mikro adalah :

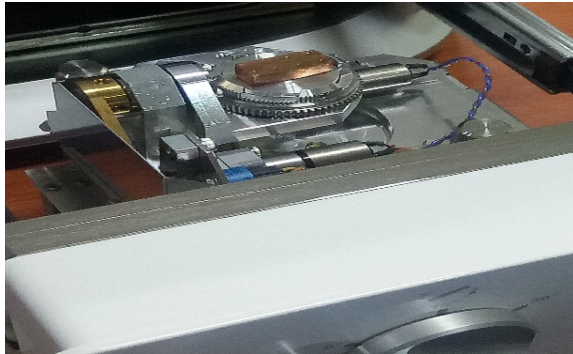
1. Pemotongan (*Sectioning*)

Proses pemotongan material merupakan suatu proses untuk mendapatkan material uji dengan cara mengurangi dimensi awal material uji menjadi dimensi yang lebih kecil. Pemotongan material uji ini bertujuan untuk mempermudah pengamatan struktur mikro material uji. Proses pemotongan material uji dapat dilakukan dengan cara pematahan, penggergajian, penggungtingan, dan lain-lain.

2. Pompa debu karet (*Rubber hand blower*)

Untuk membersihkan debu halus yang menempel pada specimen tembaga sebelum dimasukkan pada alat uji SEM, dengan cara menekan bagian kepala yang terbuat dari

karet sehingga angin keluar melalui lubang kecil menyerupai kerucut.



Gambar 3. Uji SEM



Gambar 4. Furnace / dapur peleburan

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Proses penelitian ini membutuhkan waktu yakni di mulai pada bulan Juni sampai dengan bulan Oktober 2021. Proses pengecoran logam dilaksanakan di laboratorium pengecoran logam departemen teknik mesin Universitas Hasanuddin, adapun untuk pengujian sem di Laboratorium Universitas Muslim Indonesia serta pengujian kekerasan dilaksanakan di laboratorium material teknik Universitas Hasanuddin.

1. Alat bantu

a. Furnace

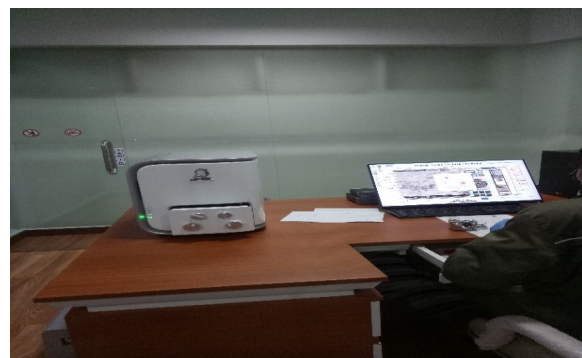
Dapur peleburan yang dengan kapasitas yang kecil digunakan untuk melebur unsur paduan Tembaga, dengan prinsip *transformator* dengan kumparan primer dialiri arus AC dari sumber tenaga dan kumparan sekunder. kumparan sekunder yang diletakkan dalam medan magnet kumparan primer akan menghasilkan arus induksi.

b. Alat uji kekerasan



Gambar 5. Alat uji kekerasan, *testing machine tipe mtech hardness test*

c. Alat uji struktur mikro



Gambar 6. Alat uji sem, tipe jeol max magnification 15000x

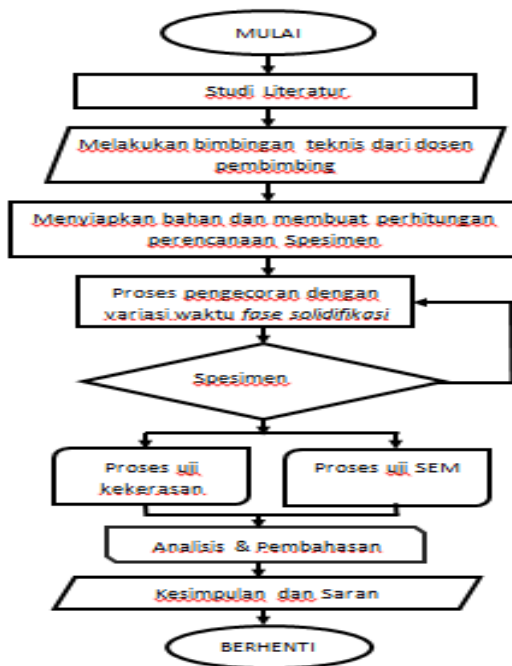
3.5 Proses Pengujian

1. Pengujian struktur mikro

Pengamatan struktur mikro untuk melihat struktur mikro pada bagian permukaan, langkah-langkahnya sebagai berikut:

- Mengamplas salah satu permukaan spesimen yang sudah di uji kekerasannya lalu selanjutnya melakukan pengujian sem.
- Menyalakan mikroskop.
- Memasang spesimen pada koil pemindai pada bagian permukaan.
- Memfokuskan lensa sampai terlihat jelas struktur yang bermasalah.
- Mengukur benda uji
- Memasukan benda uji kedalam alat uji sem
- Mengimput dan melihat data yang di gunakan sebagai sampel benda uji

Diagram Alir Penelitian (*Flowchart*)

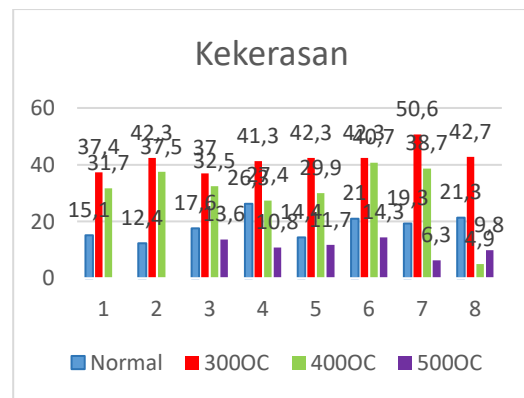


III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tabel kekerasan

No.	Beban (N)	Titik Penekanan	Nilai Kekerasan HRF (N/mm ²)			
			Pemanasan		cetakan	
			Normal	300°C	400°C	500°C
1	60	1	15.10	37.40	31.70	N.A
2		2	12.40	42.30	37.50	N.A
3		3	17.60	37.00	32.50	13.60
4		4	26.30	41.30	27.40	10.80
5		5	14.40	42.30	29.90	11.70
6		6	21.00	42.30	40.70	14.30
7		7	19.30	50.60	38.70	6.3
8		8	21.30	42.70	4.9	9.8
NILAI RATA-RATA			18.48	41.09	34.05	18.46

Dapat dilihat dari keempat jenis perlakuan pemanasan pada Tembaga Normal dan Cu300°C, Cu400°C dan Cu500°C untuk pengujian kekerasan, pemanasan Cu500°C memiliki nilai kekerasan rata – rata sebesar 18.46 N/mm². Kekerasan tersebut memiliki nilai paling rendah diantara yang lainnya. Semakin tinggi pemanasan yang diberikan maka kekerasan semakin menurun. Hal ini disebabkan jika pemanasan tembaga Cu yang tinggi akan merubah bentuk struktur atom pada tembaga yang menyebabkan kekerasan menurun.



Gambar 7. Grafik kekerasan

A. Perhitungan Strukturmicro

Perhitungan strukturmicro pada pengujian *scenning elekton mikroskop* ini menggunakan data Cu 500°C pada pembesaran 4000x dibantu dengan software Oringin 2016.

x_c = Average NP size nano partikel

σ = Standard deviation

$(x_c) = 529354^{e8}$

$(\sigma) = 826117^{e8} / 2 = 4.130585^{e13} \mu m$

$(x_c \pm \sigma) = (529354^{e8} + 4.130585^{e13}) \mu m$

$\sigma / x_c \cdot 100\% = (4.130585^{e13} / 529354^{e8}) \cdot 100\%$
 $= 0,7803 \cdot 100\% = 78.03 \%$

Data-data perhitungan strukturmicro selanjutnya di lampirkan pada tabel 4.

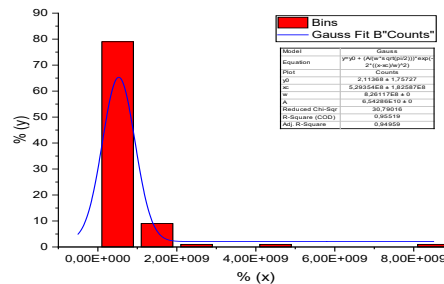
2. Tabel strukturmicro

Perlakuan	Jumlah butir	Total area volume solid % (μm)	Total butir rata-rata % (μm)
Normal	76	10.01%	88.99%
300°C	74	70.06%	27,04%
400°C	68	44.04%	56,96%
500°C	91	22.97%	78,03%

B. Pembahasan

Dari tabel data diatas dapat kita lihat bahwa analisa perhitungan besar butir. Dimana nilai dari tembaga normal memiliki nilai rata-rata yaitu 88,99% (μm) sedangkan nilai rata-rata dari Cu300°C yaitu sebesar

27,04% (μm) untuk nilai dari Cu400°C sebesar 56,96% (μm) dan untuk Cu500°C sebesar 78,03% (μm) nilai besar butir tersebut memiliki nilai paling tinggi. Perlakuan Cu500°C memiliki besar butir yang besar disebabkan proses *annealing* yang berlangsung lebih lama berturut-turut secara teoritis menurut rumus *hall petch* $\sigma_y = \sigma_o + k_y d^{-1/2}$ menunjukkan semakin besar butiran akan memberikan tegangan tarik yang lebih rendah, juga kekerasan yang lebih rendah Menurut (Febriyanti 2015). Namun demikian pada pengujian ini perlakuan Cu500°C justru menjadikan specimen menjadi lebih solid dibandingkan dengan tembaga Cu300°C dan Cu400°C hal ini disebabkan butiran di dominasi oleh butiran perlit seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5 dimana butiran ini memiliki sifat



yang lebih keras di banding butiran ferit yang bersifat lebih lunak.

Gambar 8. Grafik strukturmicro Cu 500°C

Keberagaman ukuran partikel nano pada Cu 500 sampel/material yaitu 78.03% sehingga 22.27% sampel/material memiliki sebaran ukuran partikel yang sama atau sejenis.

IV. PENUTUP

A. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk memperbaiki sifat mekanis

produk pengecoran logam maka dapat dilakukan dengan penambahan temperature dan waktu proses solidifikasi dari cairan tembaga sebelum mengeras menjadi produk coran. Perlakuan pemanasan mengakibatkan bertambahnya waktu solidifikasi dan kekerasan produk coran, dimana tingkat kekerasan optimum tercapai pada pemanasan 300°C dengan hasil kekerasan H_R 41,09

2. Karakteristik mekanis (kekerasan) akibat proses solidifikasi dengan variasi temperature memberikan karakteristik produk cor yang berbeda-beda. Penelitian menunjukkan hubungan waktu solidifikasi tembaga dengan kekerasan hasil pengecoran, yaitu: Cu normal 10,40 detik H_R 18,48; Cu 300°C 16,03 detik H_R 41,09; Cu 400°C 23,50 detik H_R 34,05 dan Cu 500°C 30,41 detik H_R 18,46.
3. Dari data hasil SEM (*Scanning Elektron Microscop*). Hasil citra SEM pada magnitude 4000 kali dengan ukuran skala foto 5 μ m mendapatkan SED (*High Vakum*). Pada perlakuan tembaga normal, Cu 300°C, Cu 400°C, Cu 500°C, secara visual struktur ikatan partikel pengaruhnya lebih solid (Lebih padat) dibandingkan dengan tembaga normal dan perlakuan pada Cu 300°C, Cu 400°C dan itu juga di tunjukkan dari data statistik dari perhitungan kebanyakan ukuran partikel nano pada sampel/material Cu 500°C yaitu sebesar 56,96%, hasil ini lebih besar dibandingkan dengan perlakuan pada Cu 300°C dan Cu 400°C yaitu masing-masing sebesar 27,04% dan 56,96%.

B. Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka saran peneliti sebagai berikut :

1. Peneliti yang akan melakukan penelitian sejenisnya sebaiknya:
 - a. Perlu dilakukannya variasi jumlah riser dengan jumlah yang lebih banyak untuk mengetahui jumlah riser berapakah hasil pengecoran dengan kualitas terbaik.
 - b. Perlu dilakukan pengujian dengan jenis yang lain agar mendukung data-data yang ada terhadap hasil pengecoran tembaga daur ulang.
 - c. Perlu dilakukannya pengujian dengan metode lain seperti *ultrasonic testing*, *radiographic testing*, uji impak, uji tarik dan lain-lain yang bertujuan untuk memperkaya hasil penelitian pengujian cacat.
2. Masyarakat dan industri pengecoran logam dapat menggunakan batas tingkat kekerasan sampai dengan Cu 300°C sesuai keinginan sedangkan jika ingin mencari batas solid atau elastisitas pada tembaga dapat menggunakan di kisaran Cu 400 °C keatas, karena menghasilkan benda coran yang memiliki struktur lunak atau elastis tinggi.

Daftar Pustaka

- Chen, Ying. 2017. "Software Image-J." *Published October 30, 2017.*
- Dantes, kadek Rihendra. 2017. "Proses Pengecoran Logam." : 339.
- Febriyanti, Eka. 2015. "Persamaan (1) Disebut Dengan Persamaan Hall Petch." : 142. www.ejurnalmaterialmetalurgi.com.
- Haryadi. Gunawan Dwi. 2006. "Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan , Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Tembaga." *Teknik mesin* 8(5):1-8.

Pertiwi, Puji Kumala et al. 2015. “Pengaruh Perlakuan Panas (Heat Treatment) Terhadap Perubahan Sifat Mekanik Batangan Tembaga (Cu).” : 1–5.

Priyulida, F. 2021. “Origin Merupakan Aplikasi Perangkat Lunak Untuk Personal Computer (PC) Dalam Pemrosesan Data (Termasuk Fungsi-Fungsi Statistika Dan Analisis Numerik) Dan Untuk Pembuatan Grafik 2D Dan 3D.” 2: 4–7.
<https://microcal-origin.software.informer.com/6.0/>.

Purwiyanto, Anna Ida Sunaryo. 2013. “Logam Tembaga (Cu).” : 1–5.
<http://masparijournal.blogspot.com>.

Zhang, Wenhong, and Xun Wang. 2020. “Treatment Principles.” : 142–43.