

Analisa Variasi Temperatur Sintering Dengan Metode Metalurgi Serbuk Al- CNT Untuk Aplikasi Bantalan

(Liberius Rerung Mangan¹, Atus Buku², Salma Salu³)

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia Paulus
Jl. Perintis Kemerdekaan Km 13 Daya Makassar, 90243
Email korespondensi: liberrerung498@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana mengaplikasikan suatu bahan baru seperti *carbon nanotube* dan alumunium menjadi sebuah suatu komponen dimana komponen tersebut dapat digunakan sebagai pengganti suatu komponen dengan melakukan metode metalurgi serbuk. Dengan komposisi *carbon nanotube* 99,998 % dan alumunium 0,002 % dan untuk mengetahui kekuatan spesimen dengan melakukan pengujian kekerasan dan untuk mengetahui struktur mikro dari specimen. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu sintering dari suatu spesimen maka nilai kekerasannya akan meningkat contoh pada spesimen dengan suhu 200°C dan 400°C dimana nilai kekerasan adalah berada di antara 107,5 kgf dan 109,8 kgf.

kata kunci : Metalurgi Serbuk, *Carbon Nanotube* dan Aluminium

I. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini sangat berkembang dengan pesat. Hal ini berdampak pada terciptanya teknologi baru khususnya dalam hal teknologi pembuatan komponen mesin metode metalurgi serbuk adalah cara yang berkembang pesat saat ini. Dimana metode metalurgi serbuk dapat menggabungkan dua atau tiga material sehingga didapat sifat mekanik yang baik, seperti dalam pembuatan bantalan (Hanafi dkk., 2020).

Bantalan (Bahasa Inggris: *Bearing*) adalah komponen mesin yang membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mesin sehingga selalu bergerak dalam arah yang sama. Bantalan memastikan bahwa poros berputar pada porosnya setiap saat, atau bahwa komponen yang bergerak linier tetap berada di jalurnya. Material komposit merupakan salah satu material yang digunakan dalam pembuatan bantalan. Material komposit merupakan salah satu material dengan sifat mekanik yang baik yang akhir-akhir ini banyak mendapat perhatian. Komposit adalah bentuk baru dari bahan rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dengan sifat kimia dan fisik yang berbeda satu sama lain (Ikhsan & Sahlan, 2021).

Metalurgi serbuk adalah suatu metode yang telah berkembang dari proses produksi untuk mendapatkan bentuk komponen akhir dengan menggabungkan serbuk menjadi satu dan memadatkannya dalam cetakan pada suhu yang tepat, kemudian disinter dalam tungku (*furnace*). Ide di balik metode ini adalah untuk

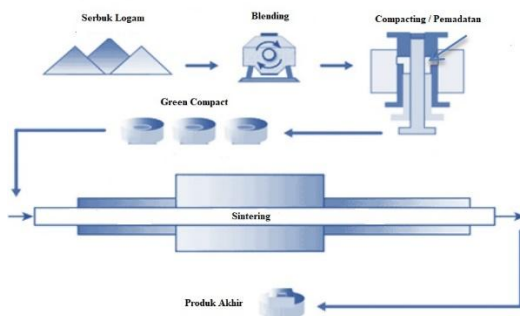
mengkonsolidasikan bubuk logam menjadi bentuk tertentu sebelum memanaskannya di bawah titik leleh. Sebagai hasil difusi atom antara permukaan partikel, partikel logam mengalami mekanisme perpindahan massa. Prosedur metalurgi serbuk memungkinkan kontrol yang tepat dari komposisi dan penggunaan campuran yang tidak mungkin dibuat menggunakan metode lain. Karena cetakan dan *finishing* mempengaruhi ukuran (Nayiroh, 2015).

Carbon nanotube adalah jenis struktur karbon yang terstruktur seperti silinder dan memiliki diameter dalam kisaran nanometer. Keunggulan struktur ini dalam hal kekuatan, karakteristik listrik, dan konduktivitas panas yang baik menjadikannya unik. Struktur ini hadir dalam berbagai bentuk turunan, masing-masing dengan kumpulan propertinya sendiri. Sifat unik karbon nanotube memberi mereka harapan baru untuk kemajuan nanoteknologi (Eka, 2014).

Proses *sintering* akan berdampak signifikan terhadap perkembangan fasa kristalin material. Waktu dan atau suhu sintering memiliki pengaruh yang signifikan terhadap fraksi fasa yang dihasilkan. Semakin cepat proses pembentukan kristal, semakin tinggi suhu sintering. Bentuk dan ukuran celah, serta struktur perkembangan kristal, semuanya dipengaruhi oleh suhu (Alfauzi, 2018). Untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap kekerasan pada material Al- CNT dan Untuk mengetahui struktur mikro material Al-CNT.

II. LANDASAN TEORI

Metalurgi serbuk merupakan proses pembentukan benda kerja komersial dari logam dimana logam dihancurkan dahulu berupa serbuk, kemudian serbuk tersebut ditekan didalam cetakan (*mold*) dan dipanaskan di bawah temperature leleh serbuk sehingga terbentuk benda kerja. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi masa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain. Sebagai ukuran ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*) (Ardiansyah, 2021).



Gambar 1 Proses metalurgi serbuk (Worlds, 2020).

Langkah-langkah dasar pada metalurgi serbuk Pembuatan serbuk

Ada beberapa cara dalam pembuatan serbuk antara lain (Muhammad, 2017):

- Decomposition*, terjadi pada bahan yang mengandung komponen logam, terjadi dekomposisi. Jika dipanaskan sampai suhu yang cukup tinggi, zat tersebut akan terurai dan memisahkan unsur-unsurnya. Senyawa logam dan zat pereduksi adalah dua reaktan dalam reaksi ini. Reaktan padat, cair, atau gas dapat digunakan.
- Atomization of Liquid Metals*, menuangkan bahan cair melalui nosel yang diumpankan dengan air bertekanan untuk menghasilkan butiran kecil dapat mengubah bahan cair menjadi bubuk.
- Electrolytic Deposition*, elektrolisis digunakan untuk membuat bubuk, yang sering menghasilkan partikel yang sangat reaktif dan rapuh. Akibatnya, bahan deposisi elektrolitik memerlukan prosedur anil tertentu. Granula yang dibuat oleh deposisi elektrolitik memiliki struktur dendritik.
- Mechanical Processing of Solid Materials*, Bubuk dibuat dengan menghancurkan bahan dengan ball mill atau mengikisnya dengan

penggiling bermotor. Bahan yang diproses secara mekanis, seperti logam murni, bismut, antimon, paduan logam yang cukup keras, dan keramik, harus mudah retak.

Pencampuran (*Mixing*)

Untuk meningkatkan kualitas fisik dan mekanik, pencampuran bubuk dapat dilakukan dengan menggabungkan logam yang tidak kompatibel dan bahan lainnya. Prosedur kering (pencampuran kering) dan proses basah (pencampuran basah) keduanya merupakan opsi untuk pencampuran (pencampuran basah). Untuk meningkatkan aliran bubuk, pelumas dapat diterapkan (Widarma, 2017).

Penekanan (*Compaction*)

Setelah serbuk logam dimasukkan ke dalam cetakan, proses pemadatan adalah proses pembuatan serbuk logam dengan menggunakan mekanisme pengepresan. Dalam kebanyakan kasus, proses pemadatan dilakukan dengan menekan dalam satu atau dua arah. Pendorong atas bergerak ke bawah dalam dorongan satu arah. Dalam dua arah, tekanan atas dan bawah menekan satu sama lain dalam arah yang berlawanan secara bersamaan. Proses pemadatan dalam membuat serbuk dengan kekuatan yang baik sebagian besar bertanggung jawab atas jenis dan jenis barang yang dihasilkan oleh proses metalurgi serbuk (Ardiansyah, 2021).

Serbuk ditekan agar serbuk dapat menempel satu sama lain sebelum proses *sintering* meningkatkan pengikatan. Ketika menggunakan metode metalurgi serbuk untuk membuat paduan, serbuk terikat oleh interlocking antara permukaan, interaksi adhesi, dan difusi antar permukaan. *Difusi* dapat terjadi selama proses *sintering* untuk yang terakhir. Bahan baku pemadatan adalah bentuk benda yang ditarik dari pengepresan; menyerupai hasil akhir, tetapi kekuatannya masih rendah. Setelah proses *sintering*, kekuatan akhir material ditentukan (Junaidi & Suhadi, 2013).

Pemanasan (*Sintering*)

Sintering adalah proses pemanasan produk pemadatan asli ke suhu yang memungkinkan mekanisme difusi atom untuk membentuk ikatan antar partikel, meningkatkan kekuatan produk awal. Proses *sintering* akan berdampak signifikan terhadap perkembangan fasa kristalin material. Waktu dan/atau suhu *sintering* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap fraksi fasa yang dihasilkan. Semakin cepat proses pembentukan kristal, semakin tinggi suhu *sintering*. Bentuk dan ukuran celah, serta struktur perkembangan kristal, semuanya dipengaruhi oleh suhu (Meilani, 2016).

Karena produk akhir harus padat dan homogen, proses *sintering* harus mencakup homogenisasi. Proses *sintering* yang diproyeksikan akan tertunda jika bubuk logam memiliki lapisan oksida di atasnya. Lapisan oksida ini tidak hanya membuat produk akhir lebih rapuh, tetapi juga memperlambat proses difusi antar partikel serbuk selama *sintering*, sehingga menaikkan suhu *sintering*. Lapisan oksida pada serbuk dibuat melalui kontak antara permukaan serbuk dan udara, serta perlakuan yang diterima serbuk selama proses produksi metalurgi serbuk. Dengan mengalirkan gas reduksi melalui bubuk sebelum atau selama *sintering*, oksida dalam bubuk dapat direduksi (Abdurrahim, 2016).

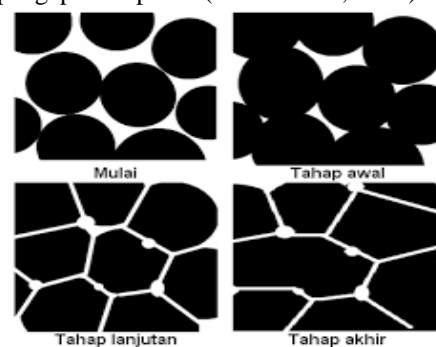
Proses *sintering* adalah suatu cara menghasilkan barang dari bahan serbuk yang telah dipadatkan (dicetak) kemudian dipanaskan di bawah titik lelehnya sehingga menyebabkan partikel-partikel tersebut saling berikatan. Padatan terbentuk sebagai akibat dari pembentukan ikatan antar partikel selama proses *sintering*. Panas memungkinkan partikel untuk saling menempel, meningkatkan kemandirian reaksi tegangan permukaan. Dengan kata lain, proses *sintering* menyebabkan partikel saling menempel, meningkatkan densitas. Batas butir terbentuk selama proses ini, yang merupakan tahap pertama rekristalisasi. Selanjutnya, selama *sintering*, gas yang ada menguap, dan suhu *sintering* umumnya di bawah titik leleh elemen bubuk utama (Ardiansyah, 2021).

Ikatan antar partikel akan semakin kuat bila dilakukan prosedur *sintering* pada sampel yang telah dipadatkan sebelumnya. Terbentuknya jembatan cair (*necking*) setelah proses *sintering* menyebabkan porositas berkurang dan material menjadi lebih terkompresi, sehingga terjadi peningkatan bonding. Porositas dan area kontak permukaan antara butiran keduanya dipengaruhi oleh ukuran bubuk dalam situasi ini. Semakin kecil serbuk, semakin kecil porositas dan semakin luas bidang kontak permukaan antar butir (Aisyah, 2019).

Dalam metalurgi serbuk, proses *sintering* sangat penting dalam menentukan kualitas akhir dari produk jadi. Proses *sintering* didefinisikan sebagai perlakuan panas yang mengikat partikel-partikel menjadi suatu struktur yang koheren, sehingga menghasilkan struktur padat melalui transpor massa pada skala atom. Keterkaitan yang terbentuk akan meningkatkan kekuatan sistem sekaligus menurunkan energinya (Ardiansyah, 2021).

Proses *sintering* dapat dilakukan di bawah atau tanpa tekanan (*pressureless*). *Sintering* keadaan

padat dan sinter fase cair adalah dua bagian dari metode *sintering* tanpa tekanan. Pada siklus proses *sintering*, adanya zat cair (*liquid*) dapat mempercepat perpindahan massa, pemadatan, dan pengkasaran butir. Mayoritas proses *sintering* berlangsung tanpa menggunakan tekanan (*pressureless sintering*). *Sintering* berbantuan tekanan adalah pendekatan baru yang melibatkan penerapan tekanan pada bahan non-reaktif selama proses *sintering* daripada menggunakan siklus sinter tradisional, seperti material komposit dan intermetalik suhu tinggi. *Creep difusi* mengontrol pemadatan saat tekanan yang diterapkan rendah. Ketika tegangan efektif melebihi kekuatan luluh material, pemadatan pada tekanan tinggi dipercepat. Hidrostatik pengepresan isostatik panas atau tekanan uniaksial biasanya digunakan penempaan dan pengepresan panas (Muhammad, 2017).



Gambar 2 Tahapan *Sintering* (German, 1994).

Proses *sintering* dibagi menjadi beberapa tahap. Partikel bubuk melewati berbagai fase selama proses *sintering*, yaitu (German, 1994) Kontak titik (*Point contact*) partikel-partikel ini dapat membuat situs kontak acak dengan partikel lain. Belum ada perubahan dimensi yang terjadi, dan ikatan sentuh yang terjadi masih samar. Semakin tinggi berat jenis umpan, semakin besar area kontak antar partikel, sehingga menghasilkan sambungan yang lebih kuat selama proses *sintering*. Saat kotoran menempel pada batas kontak, jumlah bidang kontak berkurang, menurunkan kekuatan produk yang disinter. Tahap awal (*initial stage*) Partikel-partikel ini dapat membuat situs kontak acak dengan partikel lain. Belum ada perubahan dimensi yang terjadi, dan ikatan sentuh yang terjadi masih samar. Semakin tinggi berat jenis umpan, semakin besar area kontak antar partikel, sehingga menghasilkan sambungan yang lebih kuat selama proses *sintering*. Saat kotoran menempel pada batas kontak, jumlah bidang kontak berkurang, menurunkan kekuatan produk yang disinter. Tahap menengah (*intermediate stage*) Sifat mekanik bahan yang disinter ditentukan pada tahap ini. Pertumbuhan butir terjadi pada titik ini,

dan struktur pori menjadi halus. Laju *sintering* menentukan bentuk batas butir dan pori-pori pada tahap ini. Pori-pori pertama kali ditemukan di batas butir, di mana mereka menyediakan struktur pori. Sedangkan difusi volume dan difusi batas butir mengikuti densifikasi yang terjadi pada tahap ini. Semakin besar ikatan dan densifikasi yang terjadi maka semakin tinggi suhu dan lama sintering, serta semakin kecil partikel serbuk. Tahap akhir (*final stage*)

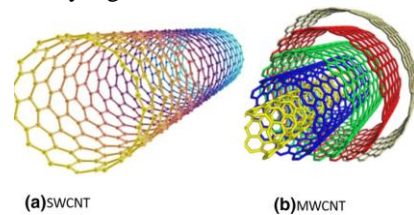
Prosedurnya saat ini lambat. Mekanisme difusi massal menyebabkan pori-pori melingkar mengecil. Mengikuti pergeseran batas butir, pori-pori berdifusi ke batas butir hingga mengecil, yang merupakan proses bertahap. Karena pengurangan ukuran pori yang disebabkan oleh pemanasan terus menerus, ukuran pori rata-rata akan bertambah tetapi jumlah pori akan berkurang. Laju reduksi pori akan dipengaruhi oleh kelarutan gas yang terperangkap dalam matriks jika pori-pori tersebut mengandung gas yang terperangkap.

Carbon Nanotube (CNT)

Carbon nanotube struktur karbon adalah turunan. *Carbon nanotube* terdiri dari lembaran grafit setebal 1 atom yang telah digulung menyerupai silinder dan memiliki diameter dalam kisaran nanometer. Ikatan atom karbon membentuk struktur seperti sarang lebah di lembaran ini. *carbon nanotube* memiliki struktur unik yang memungkinkan mereka untuk menunjukkan elastisitas, kekuatan tarik, dan stabilitas bila dibandingkan dengan struktur karbon lainnya. Manfaat ini dapat digunakan untuk membuat struktur bangunan yang kuat, konstruksi mobil yang aman, dan struktur lainnya. Hal ini disebabkan fakta bahwa *carbon nanotube* memiliki ikatan sp^3 , yang sebanding dengan yang ditemukan di grafit. Ikatan ini lebih kuat dari struktur ikatan sp^2 berlian. Akibatnya, *carbon nanotube* secara alami akan membentuk ikatan yang sangat kuat (Eka, 2014).

Carbon nanotube (CNT) terdiri dari lembaran *graphene* yang digulung menjadi bentuk silinder, biasanya dalam rentang skala nano, dengan sifat termal, listrik, dan mekanik yang sangat baik. Karbon adalah elemen yang paling banyak dan penting di alam, dan bentuk murninya adalah berlian dan grafit. CNT pertama kali ditemukan pada tahun 1991 oleh Iijima, dan dengan ditemukannya fullerene dan graphene, bahan-bahan ini telah menarik minat para peneliti. CNT adalah *nanotube carbon* berbentuk silinder yang terbuat dari lembaran graphene yang digulung dengan struktur

segi enam biasa dan diameter banyak lipatan lebih kecil dari panjangnya. Lembaran graphene dengan atom karbon berstruktur heksagonal digulung untuk membentuk bentuk seperti tabung berongga dalam struktur CNT yang ideal.



Gambar 3 *Carbon nanotube* (Handayani 2006)

Berdasarkan jumlah lembaran grafit yang terkandung dalam strukturnya, *carbon nanotube* dikategorikan menjadi dua kategori: *carbon nanotube* berdinding tunggal (SWCNT) dan *nanotube carbon* berdinding banyak (MWCNT). MWNTS dan SWNTS memiliki diameter mulai dari 2 nm hingga 100 nm dan 0,7 nm hingga 2 nm, masing-masing, dalam struktur MWCNT, meskipun panjangnya dapat berkisar dari beberapa milimeter hingga mikrometer. Karbon nanotube dianggap sebagai bahan yang menjanjikan sebagai pembawa katalis karena kualitas seperti stabilitas kimia yang luar biasa, kapasitas adsorpsi yang kuat, luas permukaan spesifik, dan struktur elektronik yang khas. CNT juga diklaim memiliki kemampuan untuk digunakan sebagai pendukung dispersi material fungsional untuk meningkatkan berbagai kualitas presisi (Lestari, 2021).

Aluminium (Al)

Aluminium adalah logam berwarna putih keperakan dengan massa jenis 2,7 g/cm³ dan tergolong logam ringan. Aluminium adalah unsur kimia yang dapat ditemukan di alam. Nomor atom aluminium adalah 13 dan simbolnya adalah Al. Aluminium adalah logam yang paling umum di planet ini. Aluminium bukanlah jenis logam berat, tetapi merupakan elemen ketiga yang paling berlimpah di planet ini, terhitung hampir 8% dari luas permukaannya. Aditif makanan, antasida, aspirin buffer, astringents, semprotan hidung, antiperspiran, air minum, dan knalpot mobil semuanya mengandung aluminium (Junaidi dkk., 2020).

Aluminium murni adalah logam lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi dari keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasarannya. Aluminium murni memiliki kekuatan tarik 90 MPa, tetapi paduan aluminium memiliki kekuatan tarik hingga 600 MPa. Aluminium memiliki berat sekitar seperempat

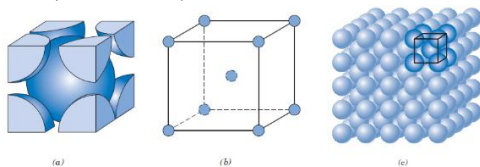
pon, mudah dikerjakan, dan dapat dikerjakan dengan alat seperti mesin, dicor, ditarik, dan diekstrusi. Resistansi korosi adalah akibat fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan Aluminium Oksida ketika Aluminium terpapar dengan udara bebas. Lapisan Aluminium Oksida ini membuat oksidasi terjadinya lebih jauh. Aluminium terlalu lunak dalam kondisi murni, dan kekuatannya terlalu rendah untuk digunakan dalam berbagai aplikasi teknis. Meskipun ketahanan korosi dan keuletan dapat ditingkatkan dengan paduan ini, seringkali dengan mengorbankan ketahanan korosi (Narwanto & Partono, 2020)

Sifat-sifat yang dimiliki aluminium antara lain (Irwana, 2018):

- Biasanya digunakan untuk peralatan rumah tangga seperti panci dan wajan karena ringan, tahan korosi, dan tidak beracun..
- Reflektif, seperti aluminium foil, yang digunakan untuk membungkus makanan, obat-obatan, dan rokok.
- Daya hantar listrik dua kali lebih besar dari Cu maka Al digunakan sebagai kabel tiang listrik.
- Paduan Al dengan logam lainnya menghasilkan logam yang kuat seperti Duralium (campuran Al, Cu, mg) untuk pembuatan badan pesawat.

Aluminium lazim di kerak bumi, terhitung 7,6% dari total. Aluminium adalah unsur logam yang paling melimpah dan unsur paling berlimpah ketiga setelah oksigen dan silikon, berkat kelimpahannya. Aluminium, di sisi lain, tetap menjadi logam mahal karena pemrosesannya yang rumit. Bauksit, satu-satunya sumber aluminium, adalah mineral yang paling bernilai ekonomis. Cryolite adalah mineral yang digunakan dalam produksi aluminium (Wahyudi).

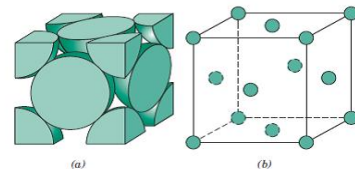
Aluminium adalah logam tahan karat yang digunakan untuk membuat produk yang berhubungan dengan makanan. Aluminium juga digunakan untuk perabotan rumah tangga seperti penggorengan dan kuliner lainnya karena sifatnya yang ringan dan tahan karat. Aluminium memiliki suhu leleh 657°C , tetapi juga memiliki lapisan yang disebut Aluminium Oksida, yang memiliki titik leleh $2020\text{-}2050^{\circ}\text{C}$. Aluminium memiliki titik leleh 657°C (Putra, 2014).



Gambar 4 Struktur Kristal *Body-Centered Cubic* (Putra, 2014).

Logam yang memiliki struktur BCC memiliki atom di tengah dan satu di masing-masing empat sudut kubus. Dua atom membentuk sel satuan BCC, yang terdiri dari jumlah delapan kali seperdelapan atom di delapan titik sudut ditambah satu atom di pusat kubus. Sepanjang diagonal ruang, atom atau inti ion bersentuhan satu sama lain. Karena setiap atom dalam sel satuan BCC dikelilingi oleh delapan (8) atom sekitarnya, bilangan koordinasi struktur BCC adalah delapan, yang lebih rendah dari struktur FCC. APF struktur kristal BCC juga lebih rendah dibandingkan dengan tipe FCC, yaitu 0,68 (Tjahjanti, 2019).

Aluminium memiliki struktur Kristal Kubik Berpusat Wajah dengan masing-masing 12 dan 4 atom dalam sel satuan. Transformasi alotropik antara 870°K dan 350°K diusulkan untuk menjelaskan diskontinuitas dalam perubahan karakteristik, tetapi penelitian selanjutnya pada logam yang lebih murni mengungkapkan bahwa tidak ada transformasi alotropik pada tekanan normal dari 40K ke titik leleh (Tjahjanti, 2019).



Gambar 5 Struktur Kristal *Face-Centered Cubic* (Tjahjanti, 2019).

Struktur kristal yang dihasilkan di FCC memiliki sel satuan dalam geometri kubusnya, dengan atom di setiap sudut dan pusat setiap wajah. Tembaga, aluminium, perak, dan emas adalah contoh logam dengan struktur kristal ini. Untuk memberikan perspektif yang lebih baik tentang posisi atom, sel satuan FCC diwakili oleh model bola keras, dengan pusat atom diwakili oleh lingkaran kecil. Jumlah delapan kali seperdelapan atom di delapan titik sudut ditambah enam kali setengah atom di enam sisi kubus memberikan sel satuan FCC empat (4) atom. Sepanjang diagonal sisi, atom atau inti ion bersentuhan satu sama lain (Tjahjanti, 2019).

Prosedur Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah salah satu cara tercepat dan termurah untuk menentukan kualitas mekanik material. Kekerasan bukanlah konstanta fisik; nilainya dipengaruhi oleh zat yang diuji dan prosedur pengujian. Jika teknik pengujiannya berbeda, maka hasil sifat mekaniknya juga akan bervariasi (Fakhriansyah, 2020).

Ada beberapa jenis kekerasan yaitu (Fakhriansyah, 2020):

1. Ball indentation test (Brinell)

Metode uji kekerasan yang diajukan oleh J.A. Brinell pada tahun 1900 ini adalah uji kekerasan lekukan pertama yang umum digunakan dan standar). Uji kekerasan ini melibatkan penekanan bola baja yang dikeraskan ke permukaan logam di bawah tekanan tertentu untuk membuat lekukan. Setelah beban dihilangkan, diameter lekukan diukur menggunakan mikroskop untuk waktu yang ditentukan, biasanya 30 detik. Permukaan lekukan harus cukup halus, rata, dan bebas debu atau kerak. Beban P dibagi dengan luas permukaan lekukan menghasilkan angka kekerasan Brinell (BHN). Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diameter jejak. BHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$HBW = \frac{2F \text{ kgf}}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

Dimana HB Brinell Hardness Number (BHN), Beban Indentasi (kg) D Diameter bola indent (mm) dan Di Diameter indentasi pada permukaan (mm)

2. Pyramida indentation (Vickers)

Uji kekerasan vickers menggunakan indentor piramida berlian, yang berbentuk persegi. Sudut yang dibentuk oleh sisi berlawanan dari piramida adalah 1360 derajat. Angka ini dipilih karena mendekati rasio ideal antara diameter lekukan dan diameter penumbuk bola dalam uji kekerasan Brinell. Vickers hardness (HV) kemudian ditentukan dari rumus:

$$HV = \frac{1.854 F}{D^2} \quad (2)$$

Dimana F Beban yang di terapkan (kg) dan (D) diagonal dari tekanan yang dibuat oleh indentor (mm)

3. Cone and ball indentation test (Rockwell)

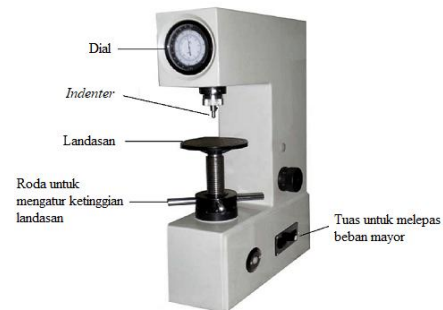
Pengujian rockwell mirip dengan pengujian brinell, Derajat lekukan menentukan angka kekerasan yang dihasilkan. Tergantung pada kondisi pengujian, beban dan indentor yang berbeda digunakan. Indentor dan beban yang digunakan lebih kecil dari pada uji brinell, sehingga menghasilkan lekukan yang lebih kecil dan halus. Karena teknik ini lebih cepat di industri, teknik ini banyak digunakan.

Karena pada pengujian rockwell, angka kekerasan yang diberikan adalah kombinasi beban dan indentor yang digunakan, awalan huruf pada angka kekerasan diperlukan untuk menunjukkan kombinasi beban dan tumbukan tertentu untuk skala beban yang digunakan.

Dibawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk mencari besarnya kekerasan dengan metode Rockwell.

$$HR = E - e \quad (3)$$

Dimana: (E) adalah konstanta dengan nilai 100 untuk indentor intan dan 130 untuk indentor bola, dan (e) adalah kedalaman penetrasi permanen karena beban utama (F1)

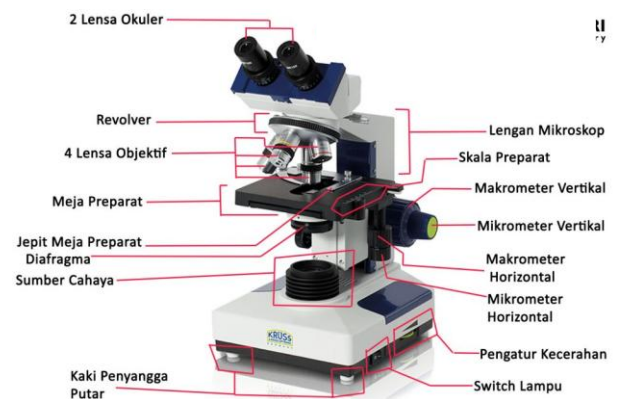


Gambar 6 Alat pengujian kekerasan Rockwell (Digital Rockwell Hardness, 2021)

Pengujian Struktur Mikro

Semua logam terdiri dari partikel-partikel yang disebut kristal atau butir-butir. Struktur kristal suatu logam murni mulai terbentuk sekitar intinya apabila logam mulai membeku dari cairan menjadi padat. Atom-atom bebas dari suatu logam disusun menjadi suatu pola yang beraturan atau latiss ruang. Pengamatan Struktur Mikro Untuk mengetahui fenomena terjadinya korosi antar butir, maka dilakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik. Pembuatan foto struktur mikro dari sampel dilakukan menggunakan mikroskop optik (Apriansyah, 2021).

Pengujian struktur mikro (Metalografi) digunakan untuk mengetahui jenis dan bentuk struktur mikro setelah melalui proses pencampuran sintering atau telah terkena suhu lingkungan.



Gambar 7 Alat pengujian struktur Mikro (Apriansyah, 2021)

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada 10 Januari 2022 di laboratorium Progran Studi Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, dan laboratorium Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

Alat dan bahan penelitian yaitu bubuk aluminium (Al), serbuk *Carbon Nanotube* (CNT) ,cairan lilin sebagai pembersih cetakan,mesin pres untuk memadatkan serbuk,corong untuk memasukkan serbuk ke dalam cetakan,timbangan untuk menimbang berat serbuk dan produk,mikrometer untuk mengukur diameter spesimen,wadah tempat serbuk tisu dan cetakan logam .

Prosedur Penelitian

Persiapan serbuk

Menimbang masing-masing serbuk aluminium (Al) 4,998 gram dan *Carbon Nanotube* (CNT) 4,998 gram.

Melakukan Pencampuran (*mixing*)

Bubuk aluminium dan nanotube karbon digabungkan dalam teknik ini, dengan komposisi aluminium 98,998% dan nanotube karbon 0,002%. Dan menggunakan timbangan digital untuk menimbang serbuk yang mengandung 4,998 gram aluminium dan 0,002 karbon nanotube.

Kompaksi

Kompaksi dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan serbuk sesuai bentuk cetakan.



Gambar 8 Proses kompaksi

Pada proses kompaksi tekanan yang di berikan adalah 5 metric-ton dan jika di konfersi kedalam massa adalah 5 metrik ton sama dengan 5,6 ton.

Sintering (Pemanasan)

Proses *sintering* bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar partikel serbuk , berikut ini adalah langkah-langkah proses *sintering* menyiapkan sampel yang telah dibuat,memasukkan sampel ke dalam *furnace*,mengatur waktu pada pada *furnace* yaitu 60 menit dan variasi temperature yaitu

temperatur *furnace* 200°C dan temperatur *furnace* 400°C



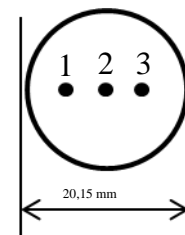
Gambar 9 Proses *sintering*



Gambar 10 Spesimen Yang Sudah *Sintering*

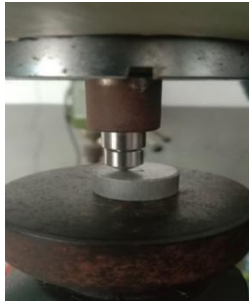
Prosedur pengujian kekerasan

Hubungan antara suhu *sintering* dengan nilai kekerasan aluminium dan *carbon nanotube* diselidiki dengan menggunakan pengujian kekerasan. Metode *Rockwell* digunakan untuk pengujian. Berikut ini adalah contoh percobaan menggunakan metode *Rockwell* untuk pengujian kekerasan. :



Gambar 11 Contoh penitikan pada spesimen

Langka- langka melakukan prosedur pengujian kekerasan adalah spesimen dibersihkan permukaannya kemudian spesimen diletakkan pada landasan uji ,spesimen dinaikkan hingga menyentuh kerucut intan/bola, kemudian katup hidrolik dikunci,Nilai kekerasan dapat dilihat pada dial indicator pointer, pengambilan data kekerasan diulang sebanyak 3 titik untuk masing-masing spesimen agar diketahui variasi nilai kekerasannya.

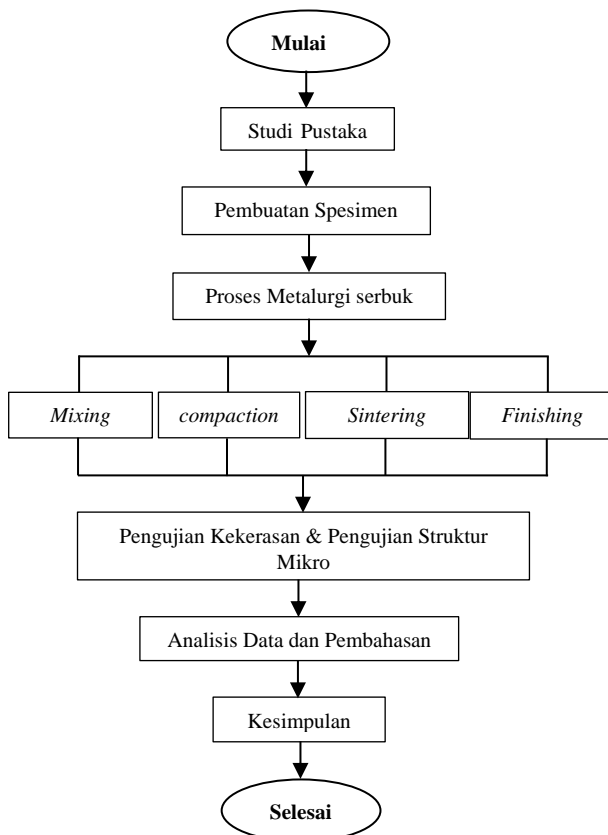


Gambar 12 Proses Pengujian Kekerasan
Prosedur Pengujian Struktur Mikro

Tujuan dari proses pengujian struktur mikro ini adalah untuk mengetahui bentuk, susunan, dan ukuran partikel penyusun pada permukaan benda uji. Mikroskop elektron digunakan untuk menghasilkan gambar spesimen yang tepat untuk penyelidikan ini. Langkah-langkah untuk memeriksa struktur mikro adalah sebagai berikut Mempersiapkan specimen kemudian pengamplasan pada specimen Mengambil foto dari permukaan benda uji dengan menyesuaikan tata letak yang diinginkan dan Pembesaran yang di gunakan 600 kali dengan mikro meter 0,25.

Diagram alir penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam rangkaian penelitian ini digambarkan dalam bentuk sebagai berikut :



Gambar 12 Bagan alir penelitian

IV. PEMBAHASAN

Pembahasan Pengujian Kekerasan

Ketika benda uji terkena uji kekerasan dengan suhu *sintering* yang sama dan jarak antar tiap titik 5 mm, nilai tiap titik bila dirata-ratakan akan memiliki nilai kekerasan yang tidak terlalu jauh. Contoh nilai kekerasan pada titik satu. Temuan titik satu, dua, dan tiga menunjukkan adanya penurunan pada penitikan dua, yang dapat disebabkan karena proses serbuk yang tidak merata saat dimasukkan ke dalam cetakan. Hal ini mengakibatkan titik dua ,spesimen mengalami penurun kekerasan, hal lain yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan .

Pembahasan Pengujian Struktur Mikro

Pada pengujian struktur mikro setiap spesimen dengan suhu *sintering* yang berbeda, dapat diketahui bahwa setiap spesimen dengan suhu *sintering* 200°C memiliki struktur mikro yang berbeda dengan spesimen dengan suhu *sintering* 400°C, baik dari segi warna maupun bentuk. Hanya bagian luar spesimen yang dapat dilihat pada perbesaran 600 kali dengan 0,25 mikrometer.

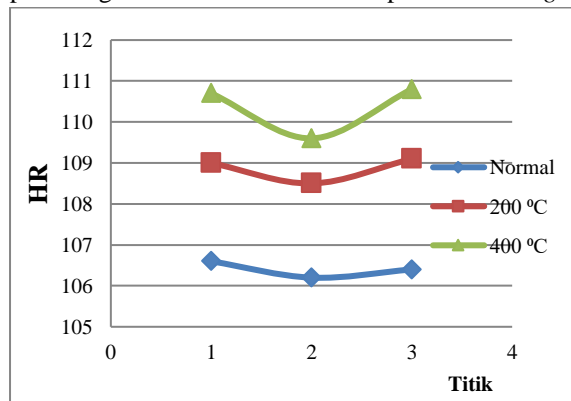
Tabel 1. Hasil Perhitungan Kekerasan *Rockwell*

No	Nilai kostanta Bola (E)	Nilai rata – rata (e) (Kgf)	Temperatur – <i>Sintering</i> °C	HR (Kgf)
1	130	23.7	Normal	106.3
2	130	21,0	200°C	109,0
3	130	21.5	200°C	107.5
4	130	20.9	200°C	109.1
5	130	19,3	400°C	109.6
6	130	20,4	400°C	108.6
7	130	19,2	400°C	109.8

Pada tabel didapatkan nilai rata-rata 23,8 kgf pada spesimen pertama, dan nilai kekerasan 106,3 kgf jika dihitung menggunakan rumus kekerasan Rockwell HR, dengan nilai konstanta bola (E) 130. Nilai rata-rata pada spesimen kedua adalah 21,0 kgf, dan nilai kekerasannya adalah 109,0 kgf jika dihitung menggunakan rumus kekerasan Rockwell HR, dengan konstanta bola (E) 130. Nilai rata-rata pada spesimen ketiga adalah 21,5 kgf, dan nilai kekerasannya adalah 107,5 kgf jika dihitung menggunakan rumus Rockwell HR, dengan konstanta bola (E) 130. Pada spesimen keempat nilai rata-rata nya 20,9 kgf dan nilai kekerasan pada saat di hitungan menggunakan rumus kekerasan *Rockwell* HR adalah 109,1 kgf dengan nilai kostanta bola (E) adalah 130. Nilai rata-rata pada spesimen kelima

adalah 19,3 kgf, dan nilai kekerasannya adalah 109,6 kgf jika dihitung menggunakan rumus kekerasan Rockwell HR, dengan nilai konstanta bola (E) sebesar 130. Nilai rata-rata pada spesimen keenam adalah 20,4 kgf, dan nilai kekerasannya adalah 108,6 kgf jika dihitung menggunakan rumus kekerasan Rockwell HR, dengan konstanta bola (E) 130. Nilai rata-rata pada spesimen ketujuh adalah 19,2 kgf, dan Rockwell HR adalah 109,8 kgf dengan konstanta bola (E) 130 jika dihitung menggunakan rumus kekerasan.

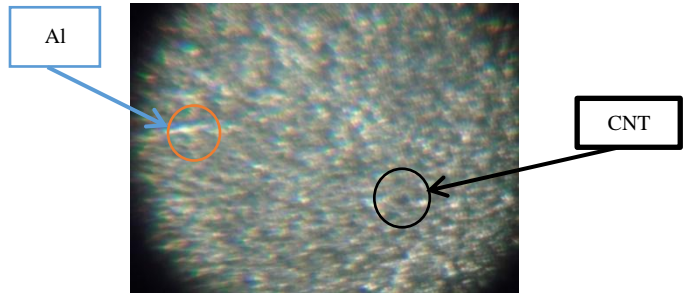
Untuk lebih jelas dapat dilihat pada grafik 1 hasil perhitungan nilai kekerasan terhadap suhu *sintering*.



Gambar 13 Hasil perhitungan nilai kekerasan terhadap suhu *sintering*

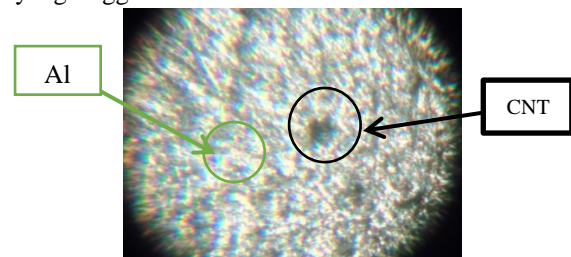
Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa pada suhu normal tanpa *sintering* pada grafik berwarna biru menunjukkan bahwa nilai kekerasannya lebih rendah, namun pada suhu 200°C pada grafik berwarna merah menunjukkan bahwa posisinya berada di antara suhu normal dan suhu 400°C, sedangkan nilai kekerasan suhu *sintering* 400°C, kekerasan yang lebih besar dapat ditentukan bahwa semakin tinggi suhu, semakin tinggi kekerasan spesimen. Nilai yang tinggi terkait dengan peningkatan nilai kekerasan, menurut penelitian metalurgi serbuk, semakin tinggi suhu, semakin keras spesimen yang dihasilkan, karena partikel bubuk melebur menjadi satu. Nilai kekerasan turun pada titik kedua, karena bubuk tidak tercampur secara merata saat dimasukkan ke dalam cetakan. Sangat sulit untuk melihat kerataan bubuk karena posisi didalam cetakan susah untuk di lakukan perataan harus ada alat khusus.. Hal ini penyebab terjadinya penurunan pada pada titik dua.

Pengujian Struktur Mikro



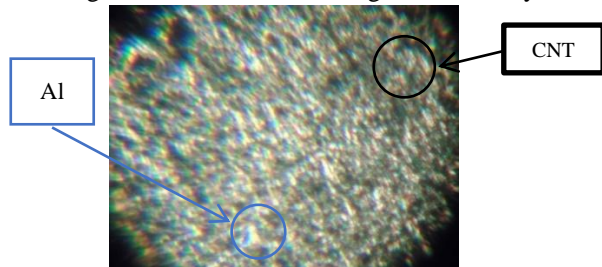
Gambar 14 Struktur Mikro Spesimen Normal.

Pada gambar di atas menunjukkan struktur mikro aluminium yang berwarna terang dan umumnya mendominasi permukaannya, sedangkan *carbon nanotube* berwarna hitam dan memenuhi permukaan aluminium. Dapat juga dilihat bahwa pada temperatur normal, spesimen aluminium dan *Carbon Nanotube* telah tercampur rata, dibuktikan dengan tidak adanya gumpalan serbuk karena pencampuran yang merata.. Kekerasan benda uji juga mempengaruhi struktur mikronya pada suhu normal, karena semakin tinggi suhu sintering maka semakin banyak kekerasan yang akan dialami benda uji, dan suhu sintering dapat mengubah struktur mikro suatu benda uji, dan nilai kekerasan benda uji yang kita miliki. *mikro-testing* yang dilakukan adalah 106,3 kgf untuk spesimen normal atau tidak, proses *sintering* dilakukan pada spesimen ini. Oleh karena itu, diperlukan proses *sintering* untuk memastikan bahwa spesimen memiliki kekerasan yang tinggi.



Gambar 15 Struktur Mikro Suhu *Sintering* 200° °C Kita dapat melihat campuran Al-CNT pada suhu 200 °C, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.3, di mana yang berwarna terang adalah aluminium dan yang hitam adalah CNT (*Carbon Nanotube*). Berdasarkan pengamatan terlihat adanya CNT yang tidak tercampur merata pada spesimen ini; hal ini dapat terjadi karena pencampuran serbuk dengan cara yang tidak sesuai dengan waktu pencampuran sehingga menyebabkan struktur mikro spesimen dengan suhu *sintering* 200 °C tidak tercampur dengan baik. Jika dibandingkan dengan *Carbon nanotubes*, logam memiliki bentuk yang lebih cerah ketika dipanaskan hingga 200°C. Kekerasan pada temperatur 200°C sangat dipengaruhi oleh

temperatur, dengan kekerasan benda uji pada temperatur 200°C sebesar 109,1 kgf. Dapat dikatakan bahwa semakin rendah suhu sintering, semakin tinggi kekerasan spesimen, sehingga struktur mikro dapat terlihat berbeda dari suhu sintering normal atau normal. dengan suhu lainnya.



Gambar 16 Struktur Mikro Suhu Sintering 400° C.

Carbon nanotube lebih dominan daripada aluminium pada suhu 400°C, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4, karena pemanasan yang berlebihan. Hal ini dapat diamati pada warna gelap yang lebih menonjol, dengan kata lain *Carbon Nanotubes* lebih dominan daripada aluminium dan juga dapat terlihat di bawah campuran. Al-CNT pada spesimen yang dipanaskan hingga 400 derajat Celcius Ini tercampur dengan baik dan tersebar merata. Karbon nanotube lebih dominan daripada aluminium pada suhu 400°C, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Hal ini dapat diamati pada warna gelap yang lebih menonjol, dengan kata lain *Carbon nanotubes* lebih dominan daripada aluminium dan juga dapat terlihat di bawah campuran. Pada spesimen yang dipanaskan hingga 400 °C, Al-CNT digunakan. Ini tercampur dengan baik dan menyebar secara merata.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pengumpulan data di atas maka diambil kesimpulan bahwa hasil analisa variasi temperatur *sintering* dengan metode metalurgi serbuk Al-CNT adalah sebagai berikut Pengaruh temperatur terhadap kekerasan sangat besar dimana jika temperatur di naikan maka nilai kekerasan akan meningkat contoh pada temperatur 200 °C nilai kekerasannya adalah 108,5 HR dan pada temperatur 400 °C nilai kekerasannya adalah 109,3 HR dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu *sintering* pada spesimen kekerasaannya akan tinggi sedangkan pada pengujian struktur mikro yang dapat kita lihat pada spesimen yang sudah di *sintering* adalah pada temperatur 200°C partikel atau serbuk aluminium lebih dominan di banding dengan *carbon nanotube*, dan pada temperatur 400°C warna gelap dari *carbon nanotube* lebih dominan dan membuat specimen menjadi lebih kuat yang dapat

disimpulkan jika aluminium dan *carbon nanotube* adalah gabungan yang sangat baik.

Saran

Adapun saran dari penulis selama melaksanakan penelitian mulai dari bahan mentah hingga menjadi data yang tersaji yaitu sebelum melaksanakan penelitian cek terlebih dahulu material inti yang akan digunakan seperti serbuk Al-CNT dengan teliti agar saat pengujian didapat data yang kongkrit dan pada saat melakukan melakukan proses *sintering* sebaiknya menggunakan peralatan keamanan seperti baju, kaos tangan, kaca mata kerja dan penjepit untuk menghindari hal yang tidak diinginkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahim, H. A. (2016). Pengaruh Temperatur Sintering Pada Pembentukan Natrium Super Ionic Conductor (Nasicon) NaI+ Xzr2sixp3-Xo12 (X= 2) Dan Sifat Konduktifitas Ionik Elektrolit Padat (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya).
- Aisyah, I. S. (2019,). “Pengaruh Variasi Waktu Sintering Terhadap Karakter Intermetallic Bonding Al-Ti Hasil Metallurgi Serbuk. In Prosiding Sentra” (Seminar Teknologi dan Rekayasa)
- Alfauzi, A. S., Purnomo, A., Hariyanto, H., Saada, N., & Tjahjono, B. (2018). Rekayasa Elektroda Electrical Discharge Machine Dari Bahan Baku Serbuk Tembaga Dengan Proses Kompaksi. Jurnal Rekayasa Mesin, 13(3), 91-96.
- Ardiansyah, M. (2021). Pagaruh Ukuran Serbuk Aluminium Terhadap Hardness pada Proses Metalurgi Serbuk (Doctoral dissertation).
- Apriansyah, I. (2021). Analisa Uji Performance Pada Filament Eal-Fill Dan Esteel Menggunakan Metode Taguchi Dan Grey (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA).
- Budiarto, B., Susilo, S., & Sanjaya, U. (2019). Sintesis Paduan Aluminium (6061) Dengan Metalurgi Serbuk Dan Proses T6 Untuk Bahan Fin Roket.
- Fakhriansyah, F. (2020). Studi Pengaruh Waktu Tahan Dan Pendinginan Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja St. 41 (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Kalimantan).

- German, R.M.. 1994, "Powder Metallurgy Science", second edition, princeton, New Jersey.
- Hanafi, I., & Pramono, A. W. (2020). "Analisis Pengaruh Variasi Waktu Dan Suhu Sintering Terhadap Pembentukan Fasa Dan Sifat Listrik Material Superkonduktor FeSe" (Doctoral dissertation, INSTITUT TEKNOLOGI PLN).
- Haryanto, L. T. (2012). Perancangan ulang alat bantu jalan (Walker) untuk pasien pasca stroke menggunakan metode Value Engineering.
- Ikhsan, T. R., & Sahlan, S. (2021). Penyebab Gangguan Pada Komponen Shaft Seal Water Supply Pump Beserta Rincian Biaya Pengeluarannya Pada Tahun 2020 (Doctoral dissertation, INSTITUT TEKNOLOGI PLN).
- Irwana, I. (2018). Pembuatan Dan Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Logam Paduan Aluminium Dengan Aditif 6 Fe-1 Ni (% Berat).
- Junaidi, A., & Suhadi, A. (2013). Pengembangan Metoda Pembuatan Elektroda Tembaga-Karbon Dengan Metalurgi Serbuk. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia,
- Junaidi, A., Suparjo, S., & Ishaq, M. M. (2020). Pengaruh Penambahan Kawat Jaring Baja (Expanded Steel) Terhadap Sifat Mekanis Pada Baling-Baling Perahu Motor Berbahan Aluminium. Austenit.
- Kumayasari, M. F., & Sul-toni, A. I. (2017). Studi Uji kekerasan Rockwell Superficial vs Micro Vickers. Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri.
- Lestari, K. R. (2021). Buku: Sintesis, Klasifikasi, Dan Sifat Bahan Nano.
- Meilani, A. Z. (2016). Pengaruh Waktu Pencampuran Dan Temperatur Sintering Terhadap Komposisi Fasa Intermetalik Dan Sifat Mekanik Komposit Cu-10% Wtsn Sebagai Material Peluru Frangible (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Narwanto, I., & Patna Partono, S. T. (2020). Studi Pengamatan Density dan Struktur Mikro Dengan Menggunakan Variasi Metode Pengecoran Logam Aluminium (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Nurul Nayiroh, (2015). "Teknologi Material Komposit"
- Putra, H. H. (2014). Rancang Bangun Desain Dan Pembuatan Cetakan Plakat Ampera Untuk Souvenir (Perencanaan) (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- Rif'at, Muhammad 2017."Analisa pengaruh variasi waktu sintering terhadap kekerasan dan mikrostruktur pada inter metallic bonding Alumunium(AL) Ttitanium(Ti) hasil metalurgi serbuk" .skripsi. penerbit : universitas muhammadiya malang.
- Tjahjanti, P. H. (2019). Buku Ajar Pengetahuan Bahan Teknik. Umsida Press, 1-119.
- Van vlack. L.H. 1991 "Ilmu Dan Teknologi Bahan(Ilmu Logam Dan Bukan Logam).Edisi Kelima, Penerbit Erlangga,Jakarta.
- Wahyudi, R. P. Pengaruh Temperatur Sintering Serbuk Aluminium Dan Serbuk Arang Kayu Kelapa Terhadap Sifat Mekanik Komposit Kampas Rem.
- Widarma, I. D. N. (2017). "Pengaruh Komposisi Dan Ukuran Serbuk Leaching Agent Nacl Terhadap Sifat Mekanik Dan Morfologi Biodegradable Material Mg-Fe-Zn Dengan Metode Metalurgi Serbuk Untuk Aplikasi Orthopedic Device