

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Metalurgi Serbuk

(Thummler and Oberacker 1993) Logam bubuk digunakan dalam banyak produk dalam industri, termasuk katalis, elektroda las, cat, tinta cetak, bahan peledak, dll., Di mana semua partikel bubuk mempertahankan identitasnya. Sebaliknya, metalurgi serbuk tradisional dalam definisi yang paling sederhana adalah proses pengubahan partikel padat, biasanya logam padat, paduan atau keramik dalam bentuk partikel kering dengan diameter maksimum kurang dari 150 mikron menjadi komponen rekayasa. Ini memiliki bentuk yang telah ditentukan dan memiliki karakteristik yang membuatnya dapat digunakan dalam banyak kasus tanpa pemrosesan lebih lanjut. Langkah-langkah dasar dari proses tradisional adalah produksi bubuk; menekan bubuk ke dalam bentuk yang mudah ditangani; dan "*sintering*", yang melibatkan pemanasan bentuk awal ke a Suhu di bawah titik leleh komponen utama.

Langkah-langkah yang terlibat dalam metalurgi serbuk meliputi:

1. Persiapan bahan, siapkan bahan yang harus diolah menjadi produk terlebih dahulu.
2. Bahan pencampuran (*mixing*), pencampuran bahan yang telah disiapkan sebelumnya. Ini bisa dilakukan dengan pencampuran basah atau pencampuran kering.
3. Fokus pada bahan campuran (yang dipadatkan) dan bubuk yang dipadatkan untuk mencapai pemadatan antara ikatan mekanis.
4. Pemanasan (*sintering*), kemudian sintering bedak yang dipadatkan untuk menghasilkan ikatan yang lebih erat karena panas yang diberikan. Seperti kebanyakan metode pencetakan, metalurgi serbuk juga memiliki

Kelebihan dan kekurangan metalurgi serbuk.

Kelebihan dari metalurgi serbuk adalah:

1. Efisiensi penggunaan bahan baku sangat tinggi, sehingga dapat menekan biaya yang dibutuhkan.
2. Produk dengan ukuran dan bentuk yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan sehingga mengurangi biaya pengolahan.
3. Produksi massal dapat dilakukan dengan biaya produksi yang lebih tinggi.

Kerugian dari metalurgi serbuk adalah:

1. Sulit untuk membuat produk dengan bentuk yang rumit karena serbuk tidak dapat mengalir ke ruang cetakan selama pengepresan.



Tugas Akhir

2. Karena bahan bakunya berbentuk bubuk, maka sulit untuk disimpan.

2.2. Metalurgi Serbuk

2.2.1. Produksi Serbuk

Ada beberapa metode pembuatan serbuk, diantaranya:

1. Penguraian, jika dipanaskan hingga suhu yang cukup tinggi, bahan tersebut akan mendeskripsikan / memisahkan unsur-unsur yang terkandung di dalamnya. Proses tersebut melibatkan dua reaktan yaitu senyawa logam dan zat pereduksi. Kedua reaktan dapat berupa padat, cair atau gas.
2. Atomisasi logam cair digunakan untuk mengubah bahan cair menjadi bubuk dengan cara menuangkan bahan cair tersebut kemudian melewatkannya ke dalam nosel yang dialirkan dengan air atau gas bertekanan untuk membentuk partikel kecil. Ada beberapa jenis metode atomisasi, yaitu:
 - Atomisasi gas, metode ini menggunakan gas bertekanan untuk menghasilkan logam.
 - Atomisasi air, metode ini menghasilkan logam dengan menyemprotkan air bertekanan tinggi. Tekanan tinggi dapat menghasilkan ukuran partikel serbuk halus.
 - Atomisasi sentrifugal, metode ini menghasilkan logam dengan memutar pelat secara mekanis.
3. Deposisi elektrolitik, yang dibuat menjadi bubuk melalui proses elektrolitik, biasanya menghasilkan bubuk yang rapuh. Bentuk partikel yang dihasilkan oleh deposisi elektrolitik adalah dendritik. Cara pembuatan serbuk dengan cara ini adalah dengan memisahkan unsur logam dari larutan garam. Misalnya, untuk menghasilkan serbuk besi, digunakan elektroda pelat baja, dan elektroda pelat baja dipasang sebagai katoda di dalam tangki, dan besi diendapkan pada elektroda. Kemudian lepas pelat katoda, lepas setrika elektrolitik, lalu cuci dan filter.
4. Pengolahan bahan padat secara mekanis yaitu pembuatan serbuk logam dengan menggunakan mesin atau peralatan mesin, contoh:
 - Pengerjaan sangat berguna untuk produksi serbuk skala kecil.
 - Grinding, yaitu tumbukan mekanis dengan menggunakan bola keras, yaitu suatu metode pembuatan serbuk yang terbuat dari bahan rapuh.

2.2.2. Sifat dan Karakteristik Serbuk

Kinerja serbuk awal sangat menentukan kinerja bagian metalurgi serbuk akhir. Oleh karena itu, penting untuk memahami dengan benar peran sifat serbuk

dalam proses metalurgi serbuk dan menerapkan metode yang tepat untuk secara kuantitatif mencirikan setidaknya sifat serbuk yang paling penting. Diantaranya:

1. Ukuran dan Distribusi Partikel

Salah satu karakteristik dari serbuk logam yang penting yakni ukuran partikel. Untuk menentukan ukuran partikel dari serbuk dapat dilakukan dengan pengukuran mikroskopik atau pengayakan. Ayakan standar dengan ukuran mesh digunakan untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel dalam suatu area tertentu.

Ukuran partikel linier adalah definisi ukuran bubuk. ukuran butiran Biasanya dinyatakan dalam mikrometer (μm). Ukuran partikel berhubungan dengan kehalusan permukaan benda, porositas partikel kecil kecil, dan luas kontak antar permukaan besar, sehingga difusi antar permukaan juga lebih besar, dan derajat pemadatan juga tinggi. Ukuran partikel juga menentukan kestabilan dimensi dan karakteristik selama proses pencampuran. Beberapa pengaruh ukuran partikel serbuk terhadap karakteristik serbuk adalah:

- a) Semakin halus bedaknya, semakin besar luas permukaan antar partikel, yang akan meningkatkan mekanisme difusi ikatan antar partikel selama pemanasan.
- b) Serbuk kasar akan memudahkan untuk mendapatkan densitas yang lebih seragam selama proses pemadatan, namun karena luas kontak yang kecil, kinerja hasil pemanasan tidak sebaik partikel halusnya, sehingga mengurangi sifat mekanik.

Distribusi ukuran partikel serbuk memberi tahu Anda seberapa meratanya serbuk pada ukuran tertentu. Distribusi ukuran partikel sangat menentukan kemampuan partikel untuk mengisi ruang kosong antar partikel untuk mencapai volume terpadat. Penentu distribusi partikel adalah:

- a) Waktu pencampuran.
- b) Kecepatan pencampuran.
- c) Ukuran partikel.

Semakin lama waktu pencampuran, semakin tinggi kecepatan pencampuran, dan semakin kecil ukuran bubuk, semakin baik distribusi partikel.

2. Mampu Alir (*Flowability*)

Waktu aliran tergantung secara kompleks pada gesekan internal antara partikel bubuk, gesekan antara bubuk dan dinding corong, hubungan antara lubang corong dan ukuran partikel, kepadatan partikel, dan geometri corong. Jelas tes ini hanya berlaku untuk karakterisasi komparatif dari bubuk yang mengalir bebas (non-perekat).



Tugas Akhir

3. Komposisi Kimia

Komposisi kimia menyangkut kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan, dan kadar elemen lainnya. Komposisi kimia dari serbuk logam akan berpengaruh pada proses pembentukan produk dan sifat dari hasil produk yang di buat.

4. Kompresibilitas

Kompresibilitas mencirikan perilaku densifikasi serbuk curah berdasarkan kepadatan pemadatan dan derajat pemadatan. Densitas kesetimbangan elemen volume dalam serbuk padat bergantung pada komponen tegangan yang bekerja pada volume pada saat tertentu selama proses pemadatan. Di bawah tekanan pemadatan yang diberikan, kepadatan kesetimbangan dari seluruh compact pada tekanan pemadatan tertentu mewakili rata-rata di atas banyak elemen volume diferensial.

5. Kemampuan Sinter

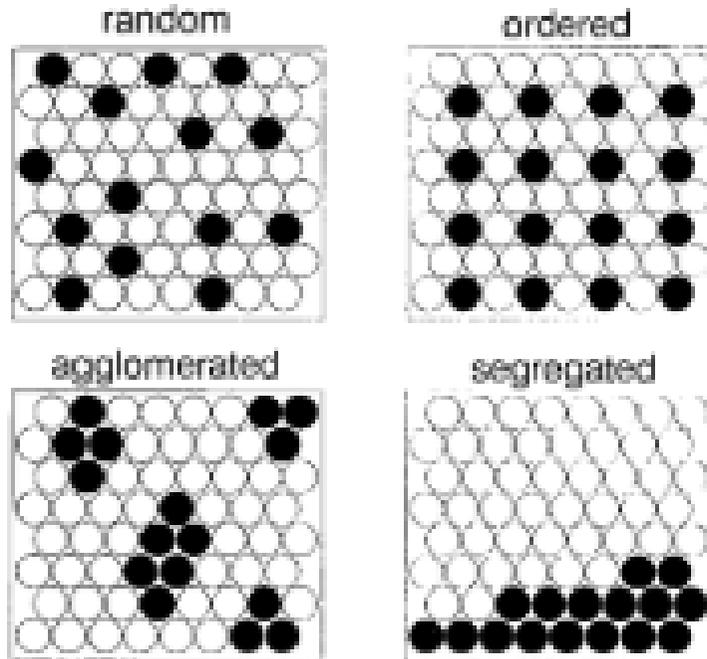
Sintering adalah proses menggabungkan partikel dengan memanaskannya hingga suhu dua pertiga dari titik lelehnya dan menekannya. Oleh karena itu, kemampuan sintering adalah kemampuan partikel, dimana partikel dapat terkombinasi dengan baik saat diberi tekanan dan dipanaskan. Semakin baik kemampuan sintering partikel, semakin baik efek produknya.

2.2.3. Proses Pencampuran Serbuk

Pencampuran didefinisikan sebagai pencampuran bubuk dengan komposisi nominal yang sama. Ini digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel yang diinginkan. Mencampur berarti mencampur bubuk dengan komposisi kimia yang berbeda. Mereka dapat digambarkan secara matematis sebagai perubahan seketika dalam konsentrasi komponen di sepanjang koordinat lokal. Perubahan konsentrasi terjadi karena pengangkutan partikel secara konvektif atau terdispersi. Modus terakhir dapat dibagi lagi menjadi transportasi difusi dan gerakan partikel acak, yang disebabkan oleh energi masukan melalui pengadukan atau pengukuran lainnya. Dibandingkan dengan beberapa jenis distribusi lainnya, dispersi terbaik yang diharapkan dalam proses pencampuran adalah distribusi acak dari berbagai jenis partikel (lihat Gambar 2.1).

Kualitas campuran biasanya dijelaskan oleh konsentrasi deviasi standar dari rangkaian volume sampel campuran. Memang benar itu sensitif terhadap volume sampel itu sendiri. Jika sampel cukup besar, s mendekati nol dan tidak bergantung

pada perubahan konsentrasi lokal. Oleh karena itu, ukuran sampel yang diperlukan untuk deviasi standar maksimum yang diijinkan adalah karakteristik lain dari homogenitas campuran.



Gambar 2. 1 Dispersi Partikel Fase Kedua Dalam Campuran Bubuk

Kualitas produk sangat dipengaruhi oleh homogenitas konstituennya Melalui proses pencampuran atau biasa disebut proses kalsinasi. Proses pencampuran ada dua yaitu pencampuran. Bubuk dengan komposisi kimia yang sama tetapi biasanya dengan ukuran partikel yang berbeda dicampur, dan dicampur pada waktu yang bersamaan untuk menggabungkan bubuk dengan sifat kimianya yang berbeda.

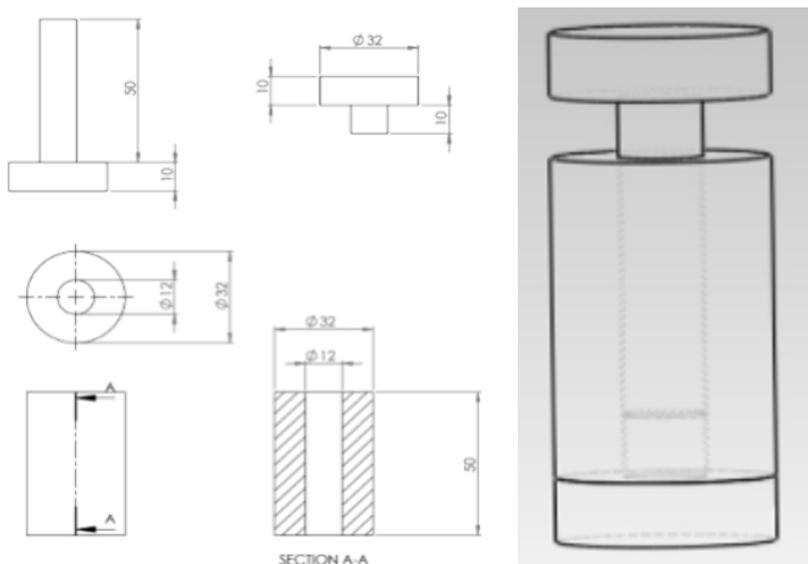
Pencampuran komponen paduan dalam proporsi yang sesuai Dapatkan campuran yang homogen. Pencampuran bubuk dapat dilakukan dengan mencampurkan berbagai logam dan bahan lain untuk memberikan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik. Ada dua macam pencampuran, yaitu:

1. Pencampuran basah, yaitu proses pencampuran pertama-tama pencampuran serbuk dengan polar solvent. Gunakan metode ini bila bahan yang digunakan mudah teroksidasi. Tujuan penerapan polar solvent adalah untuk mempermudah proses pencampuran dan menutupi permukaan bahan agar tidak bersentuhan dengan udara luar.

2. Pencampuran kering, yaitu proses pencampuran serbuk tanpa menggunakan pelarut, dilakukan di udara luar. Jika bahan yang digunakan tidak mudah teroksidasi, gunakan cara ini.

2.2.4. Proses Penekanan (*Compacting*)

Operasi pencetakan dengan bantuan tekanan dapat dibagi lagi menjadi metode pemadatan dingin dan panas. Dari sudut pandang material, kompresi dingin terjadi pada kisaran suhu di mana mekanisme deformasi suhu tinggi seperti dislokasi atau *creep* difusi dapat diabaikan. Dalam kebanyakan kasus praktis, pemadatan dingin terjadi pada suhu kamar, sedangkan pemadatan panas terjadi pada suhu tinggi. Namun, bahkan pada suhu kamar, bahan dengan titik leleh rendah (seperti timbal) dapat mengalami kompresi panas. Metode pendispersi bubuk dalam media pembawa titik leleh rendah, seperti cetakan injeksi, dapat dihubungkan dengan pengepresan dingin dan pengepresan panas.

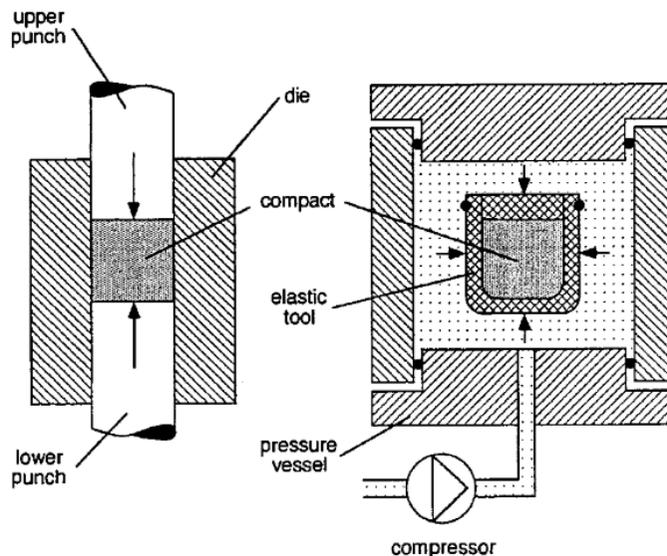


Gambar 2. 2 Skema proses Kompaksi (Rusianto 2009)

2.2.4.1. Penekanan Dingin (*Cold Compaction*)

Pengepresan dingin adalah metode pemadatan terpenting dalam metalurgi serbuk. Ini dimulai dengan serbuk, yang mengandung sedikit, dan terkadang tidak ada pelumas atau pengikat yang ditambahkan. Biasanya dimungkinkan untuk membedakan antara tekanan *aksial* (tertutup) dan *isostatik* (Gambar 2.3). Dalam kompresi aksial, bubuk dipadatkan dalam cetakan kaku dengan pukulan aksial. Dalam

pengepresan isostatik, bubuk disegel dalam cetakan elastis dan diaplikasikan pada tekanan hidrostatik P dari media hidrolis.

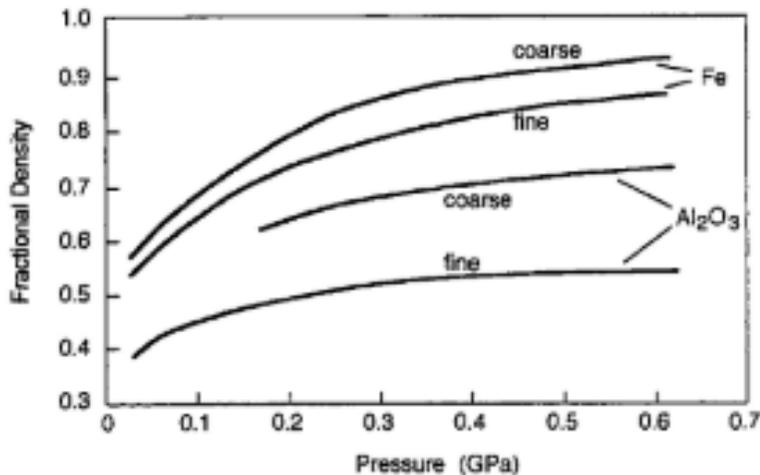


Gambar 2. 3 Prinsip Penekanan Dingin (Kiri: Aksial- Resp. Pengepresan Mati; Kanan: Pengepresan Isostatik)

Tekanan bubuk yang diwakili oleh hubungan kepadatan tekanan total diimplementasikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Parameter kontrol terutama ukuran partikel dan kapasitas deformasi plastik. Densifikasi dimulai dari kerapatan semu yang mirip dengan *pig iron* dan bubuk alumina, dan tidak jauh dari massa jenis acak padat keduanya. Serbuk halus menunjukkan kepadatan awal yang jauh lebih rendah karena akumulasi yang terhambat. Dengan meningkatnya tekanan pemadatan, kerapatan rata-rata dari *compact* meningkat. Untuk bubuk logam ulet dan alumina tidak ulet, kemiringan kurva berbeda secara signifikan. Untuk material ulet, peningkatan densitas selalu lebih tinggi untuk peningkatan tekanan tertentu.

Dalam semua kasus, kurva mendekati tingkat kerapatan akhir, yang lebih rendah dari kerapatan teoritis material. Perbedaan kepadatan antara bedak halus dan bedak halus Serbuk kasar yang sesuai tidak akan berkurang dengan meningkatnya tekanan. Agar bubuk halus mencapai kerapatan yang sama dengan bubuk kasar, diperlukan tekanan yang lebih tinggi. Gambar 2.3 hanya mewakili situasi mikroskopis: bubuk alumina rapuh hanya dapat dipadatkan dengan kepadatan relatif terhadap kemasan padat acaknya, sedangkan kepadatan maksimum serbuk besi ulet jauh lebih tinggi, yang hanya dapat dijelaskan dengan pengisian dalam jumlah besar. Ruang dibuat di antara partikel melalui deformasi plastik. Efek gesekan dan

penghubung antar partikel meningkat seiring dengan berkurangnya ukuran partikel. Saat kepadatan meningkat, efek anti-densifikasi meningkat dengan cepat.



Gambar 2. 4 Hubungan kerapatan tekanan tipikal dalam pematatan bubuk logam dan keramik (setelah Fischmeister)

2.2.4.2. Penekanan Panas (*Hot Compaction*)

Dalam pematatan panas, mekanisme deformasi suhu tinggi dari bahan bubuk itu sendiri diaktifkan dengan penerapan suhu pemrosesan yang ditingkatkan dan tekanan eksternal secara bersamaan. Teknik pematatan panas utama adalah pengepresan panas aksial dan isostatik, penempaan panas, dan ekstrusi panas. Sebagian besar teknik ini mencakup pembentukan dan pembentukan akhir, serta konsolidasi (*sintering*) bedak padat. Pemrosesan kepadatan penuh umumnya merupakan tujuan pematatan panas yang diinginkan.

2.2.5. Proses Pemanasan (*Sintering*)

Totok Suwanda.(2006), Green compact yang dihasilkan dari sebuah proses pematatan pada temperature ruangan yang belum memiliki sebuah ikatan atom yang memadai. Green Compact perlu dipanaskan dahulu hingga mencapai temperature 70% - 90% dari titik lebur bahan paduan unsur yang diinginkan. Dalam proses pemanasan disebut proses sintering, bahan aluminium titik lebur berada pada suhu 660°C dan untuk temperature sinternya berkisar antara 460° - 590°C.

2.3. Aluminium

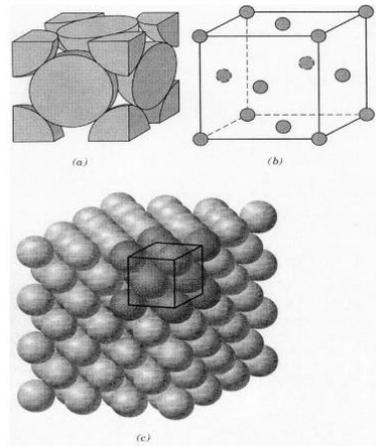
Kombinasi unik dari sifat-sifat yang diberikan oleh aluminium dan paduannya menjadikan aluminium salah satu bahan logam yang paling serbaguna, ekonomis, dan menarik. Bahan ini memiliki berbagai kegunaan, dari foil kemasan yang lembut dan sangat ulet hingga aplikasi teknik yang paling menuntut. Paduan aluminium yang digunakan sebagai logam struktural adalah yang kedua setelah baja.

Massa jenis aluminium hanya $2,7 \text{ g / cm}^3$, yaitu sekitar sepertiga dari baja ($7,83 \text{ g / cm}^3$). Satu kaki kubik baja beratnya sekitar 490 pon; satu kaki kubik aluminium beratnya hanya sekitar 170 pon. Bobot yang begitu ringan, ditambah dengan kekuatan tinggi dari paduan aluminium tertentu (melebihi kekuatan baja struktural), membuat desain dan pembuatan struktur yang kuat dan ringan sangat cocok untuk objek apa pun dalam gerakan pesawat ruang angkasa dan pesawat terbang dan semua jenis transportasi darat dan transportasi air.

Aluminium umumnya menunjukkan konduktivitas listrik dan termal yang sangat baik, tetapi paduan khusus dengan resistivitas listrik tinggi telah dikembangkan. Paduan ini dapat digunakan, misalnya, pada motor torsi tinggi. Aluminium biasanya dipilih sebagai konduktivitas listriknya, yang hampir dua kali lipat dari tembaga dengan berat ekuivalen. Penggunaan kawat baja inti aluminium tegangan tinggi kabel panjang untuk meningkatkan kabel transmisi dapat memenuhi persyaratan konduktivitas tinggi dan kekuatan mekanik. Konduktivitas termal paduan aluminium sekitar 50% hingga 60% dari konduktivitas termal tembaga, yang memiliki keunggulan dalam penukar panas, evaporator, peralatan dan perkakas pemanas listrik, serta kepala silinder dan radiator mobil. (Davis 2001)

Tabel 2. 1 Sifat Fisik Aluminium(Totten and MacKenzie 2003)

Property	Purity, %				
	99.999	99.990	99.800	99.500	99.000
Melting point, °C		660.2	–	–	657.0
Boiling point, °C		2480	–	–	–
Latent heat of fusion, cal/g		94.6	–	–	93.0
Specific heat at 100°C, cal/g		0.2226	–	–	0.2297
Density at 20°C, g/cm ³	2.7	2.7	2.71	2.71	
Electrical resistivity, $\mu\Omega\text{-cm}$ at 20°C	2.63	2.68	2.74	2.8	2.87
Temperature coefficient of resistivity		0.0042	0.0042	0.0041	0.0040
Coefficient of thermal expansion $\times 10^6$ (20–100°C)		23.86	23.5	23.5	23.5
Thermal conductivity, e.g. units at 100°C		0.57	0.56	0.55	0.54
Reflectivity (total), %		90	89	86	–
Modulus of elasticity, $\text{lb/in}^2 \times 10^{-6}$		9.9	–	–	10.0



Gambar 2. 5 Struktur Kristal - Aluminium - Struktur Kristal Kubik Berpusat Muka:
(A) Representasi Sel Satuan Bola Keras, (B) Sel Satuan Bola-Reduksi, Dan (C)
Kumpulan Banyak Atom [85,86] (Totten And Mackenzie 2003)

2.4. Magnesium

Massa jenis magnesium adalah $1,74 \text{ g / cm}^3$, yang paling ringan di antara semua logam struktural. Ini terutama digunakan sebagai berbagai bentuk bahan paduan, termasuk coran, tempa, ekstrusi, pelat dan pelat yang digulung. Ini adalah elemen yang kaya, terhitung 2,7% dari kerak bumi. Magnesium tidak ada dalam bentuk logam, tetapi terutama dalam bentuk karbonat, dolomit, dan magnesit. Bitternite juga ditemukan di air asin atau danau garam di banyak bagian dunia. Sumber utama magnesium adalah air laut.

Magnesium digunakan dalam berbagai bentuk dan kegunaan. Namun, persentase terbesar magnesium primer yang diproduksi setiap tahun digunakan sebagai elemen paduan dalam aluminium, dan aluminium ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosi. Kaleng minuman aluminium menggunakan paduan magnesium untuk membuat badan dan tutup kaleng. Penggunaan terbesar kedua adalah *die casting*, yang sebagian besar digunakan di mobil. Industri elektronik menggunakan banyak komponen die-cast untuk komputer dan perangkat komunikasi genggam. *Notebook* (laptop) adalah pengguna besar kotak magnesium. Desulfurisasi baja juga merupakan pengguna utama magnesium (bubuk atau butiran). Sebagian kecil dari total penggunaan tahunan digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk penempaan, pelat tipis, dan pengecoran pasir.

Magnesium dapat dengan mudah diproduksi oleh sebagian besar proses pembentukan logam tradisional, Termasuk berbagai jenis pengecoran, penempaan, ekstrusi, penggulangan dan cetakan injeksi (pengecoran *thixotropic*). Bentuk dasar diubah menjadi produk jadi melalui pemesinan, pembentukan, dan penggabungan. Perawatan permukaan untuk tujuan perlindungan atau dekorasi dilakukan dengan pelapisan konversi kimia, pengecatan atau pelapisan listrik.

Tabel 2. 2 Sifat Fisik Magnesium Murni (Kutz 2015)

Latent heat of vaporization	5150–5400 kJ/kg
Latent heat of sublimation	6113–6238 kJ/kg
Density	1.738 g/cm ³
Melting point	650°C
Thermal expansion	25.2 × 10 ⁻⁶ /K
Specific heat	1.025 kJ/kg · Kat 20°C
Latent heat of fusion	360–377 kJ/kg
Heat of combustion	25.020 kJ/kg
Boiling point	1090°C
Electrical resistivity	4.45 Ω · m × 10 ⁻⁸
Crystal structure	Close-packed hexagonal a = 0.32092 c = 0.52105 c/a = 1.633

2.5. Pengujian Densitas

Agar dapat mengetahui sifat-sifat dan kemampuan dari suatu material perlu dilakukan pengujian, salah satunya, yaitu: sifat fisis (densitas, porositas). Menurut Hukum Archimedes bahwa berat sebuah benda adalah sama dengan berat air yang dipindahkan. Dari prinsip tersebut maka dapat diketahui berat jenis atau densitas sebuah material dapat dilakukan penimbangan tersebut di udara dan di air. Dari hasil penimbangan tersebut dapat dimasukkan kedalam rumus dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho = W / V \dots \dots \dots (1.3)$$

dimana :

W = Massa (gram)

V = Volume (ml = cm³)

ρ = Densitas aktual (gram/cm³)

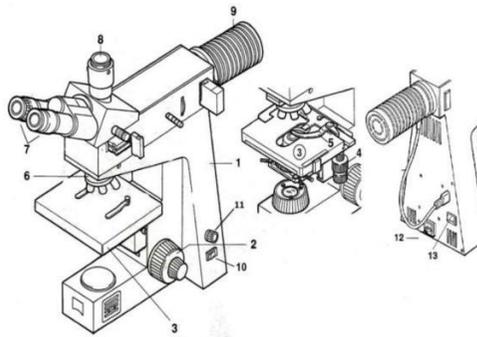
2.6. Pengujian Strukturmikro

Analisa metalografi (strukturmikro) merupakan teknik yang digunakan untuk mengetahui strukturmikro suatu logam, karena pada umumnya mempengaruhi sifat

mekanik yang akan dihasilkan. Pengujian strukturmikro yang menggunakan *Micro Hardenes Tester*

Untuk dapat mengetahui sifat dari suatu logam, kita bisa menggunakan cara yaitu dengan melihat strukturmikro nya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki strukturmikro yang berbeda juga. Dengan menggunakan diagram fasa, kita bisa memperkirakan strukturmikro nya dan bisa mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu dan dengan strutur mikro kita bisa melihat:

- a. Ukuran dan bentuk butir
- b. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam
- c. Pengotor yang terdapat dalam material Dari struktur mikro juga kita bisa memprediksi sifat mekanik dari suatu material sesuai dengan yang kita inginkan



Gambar 2. 6 Mikroskop metalografi

Keterangan :

- | | |
|---------------------|--------------------------------------|
| 1. Batang mikroskop | 8. Tempat kamera |
| 2. Pengatur fokus | 9. Tempat lampu halogen |
| 3. Meja sampel | 10. Saklar on – off |
| 4. Penggeser meja | 11. Pengatur terang lampu |
| 5. Penjepit sampel | 12. Tempat kabel ac |
| 6. Lensa obyektif | 13. Saklar pemindah arah nyala lampu |
| 7. Lensa binokuler | |

Salah satu metode untuk menghitung ukuran butir adalah metode *Planimetric*. Metode ini menggunakan lingkaran yang umumnya memiliki luas area 5000 mm²dengan diameter lingkaran 79,8 mm. Kemudian hitung jumlah total semua butir dalam lingkaran di tambah setengah dari jumlah butir yang berpotongan dengan lingkaran. Besar butir dihitung dengan mengalikan jumlah butir dengan pengali *Jefferies (f)* pada (Gambar 2.4).

2.7. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah untuk menentukan nilai kekerasan benda uji. Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan uji kekerasan Rockwell, Tes kekerasan Rockwell adalah tes yang cepat dan memerlukan biaya yang lebih sedikit. Kesederhanaan pengoperasian mesin uji kekerasan Rockwell memberikan keuntungan tambahan bahwa pengujian kekerasan Rockwell ini mudah untuk dilakukan.

Tes ini sangat berguna untuk pemilihan material, proses dan kontrol kualitas, dan pengujian penerimaan produk komersial. Skala kekerasan Rockwell dibagi menjadi dua kategori: skala kekerasan Rockwell Regular dan skala kekerasan Rockwell Superficial. Kedua kategori pengujian menggunakan jenis indenter yang sama. Uji kekerasan Rockwell biasanya menggunakan gaya (beban) yang lebih berat. Untuk skala ini, tingkat gaya awal (beban kecil) adalah 10 kgf, dan tingkat gaya total standar (beban) mungkin 60 kgf, 100 kgf, atau 150 kgf. Skala uji kekerasan Rockwell Superficial menggunakan gaya (beban) yang lebih ringan dan biasanya digunakan untuk bahan yang lebih tipis. Untuk skala Rockwell Superficial, tingkat gaya (beban) awal adalah 3 kgf, dan tingkat gaya total (beban) standar mungkin 15 kgf, 30 kgf, atau 45 kgf. Adapun skala kekerasan metode pengujian Rockwell ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2. 3 Skala Kekerasan Rockwell

TABLE 1 Rockwell Hardness Scales

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc. Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case hardened steel, and other materials harder than B100. Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel. Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron. Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals. Annealed copper alloys, thin soft sheet metals. Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G92 to avoid possible flattening of ball. Aluminum, zinc, lead. Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
C	diamond	150	black	
A	diamond	60	black	
D	diamond	100	black	
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	red	
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	red	
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	red	
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	red	
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	red	
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	

TABLE 2 Rockwell Superficial Hardness Scales

Total Test Force, kgf (N)	Scale Symbols				
	N Scale, Diamond Indenter	T Scale, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	W Scale, 1/16-in. (3.175-mm) Ball	X Scale, 1/4-in. (6.350-mm) Ball	Y Scale, 1/2-in. (12.70-mm) Ball
15 (147)	15N	15T	15W	15X	15Y
30 (294)	30N	30T	30W	30X	30Y
45 (441)	45N	45T	45W	45X	45Y

Ada beberapa metode uji kekerasan sesuai dengan nilai beban minor dan major Rockwell, uji kekerasan Rockwell yang umum digunakan (HRC), Rockwell "B" uji kekerasan (HRB) dan uji kekerasan Rockwell "A" (HRA), dan Rockwell Superficial "N" (HR 30N). Uji kekerasan Rockwell HRC adalah sejenis uji kekerasan di mana pengujiannya metode ini menggunakan indenter Brale (kerucut) dengan



Tugas Akhir

sudut puncak 120° (atas bundar, $r = 0,2$ mm). 10 kg untuk beban kecil, beban utama yang digunakan adalah 140 kg, sehingga total beban adalah 150 kg. Keuntungan dari metode HRC adalah banyak digunakan di industri karena kecepatan operasi cepat, dan hasilnya dapat dibaca langsung di mesin.

Uji kekerasan Rockwell HRB: Metode ini menggunakan bola baja yang dikeraskan hingga diameter $1/16''$ (1,59 mm) dan indenter Brale (indenter kerucut). Total beban uji yang diberikan adalah 100 kg ($10 \pm 0.2 + 90$ KP), yang merupakan beban kecil beban utama 10 kg dan 90 kg. Tes ini dapat digunakan untuk mengukur kekerasannya antara 35-110 HRB. Metode ini dapat digunakan untuk mengukur kekerasan baja anil, kuningan, perunggu dan paduan magnesium dan bahan pengukur pendinginan dan temper.

Uji kekerasan Rockwell HRA: Metode ini sama dengan uji kekerasan Rockwell HRC dan gunakan indenter yang sama. Perbedaannya adalah metode ini gunakan beban hanya 60 kg ($10 \pm 0.2 + 50$ KP). Kekerasan dapat dibaca secara langsung Setelah melepas beban utama, pada chakra digital dalam skala A (HRA).

Uji Rockwell "N"; metode ini menggunakan indenter berlian berbentuk kerucut yang mirip dengan yang berikut: Uji kekerasan Rockwell HRC. Beban yang diberikan pada bahan uji adalah 5,30 dan 45 kg (3 kg beban kecil), tergantung pada jenis bahan, ketebalan dan kedalaman. Mesin ini banyak digunakan dalam inspeksi khusus, seperti inspeksi baja nitrided baja karbonitriding dengan lapisan permukaan kurang dari 0,5 mm. Lantai Dekarburisasi juga dapat diuji dengan cara ini