

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Logam busa atau material selular merupakan suatu material yang memiliki banyak struktur sel dan pori di dalamnya. Pada awalnya hanya sifat ringan dan kekuatan yang menjadi keunggulan logam berpori, namun penelitian-penelitian lanjutan menunjukkan keunggulan lainnya, seperti keunggulan dalam konduktivitas termal, menyerap energi, dan perisai elektromagnetik, kapasitas menyerap energi yang cukup baik menjadikan logam busa dapat digunakan sebagai aplikasi struktur termasuk gedung dan struktur mobil yang sering terkena beban impact.

Logam berongga atau yang dikenal dengan istilah *metal foam* merupakan suatu yang *advance* material yang memiliki struktur berongga pada material logam yang *solid* dengan fraksi volume 75%-95% (Kennedy, 2012). Logam berpori disebut juga dengan *cellular material* yang didefinisikan sebagai suatu "ruang" yang dibagi dalam *cell-cell* tertentu yang memiliki batas-batas antar *cell* yang terbentuk dari logam padat. *aluminium foam* dengan *space holder carbamide* dengan penekanan kompaksi 300 MPa dan suhu sinter 610°C selama 120 menit memiliki nilai elastisitas 10 MPa, porositas yang dihasilkan 40 – 85% (Bafti, H dan Habibolahzadeh ,A (2010)).

Optimalisasi tekanan kompaksi, temperatur dan waktu sintering terhadap kekerasan dan berat jenis aluminium pada proses pencetakan dengan metalurgi serbuk, bahwa 170 MPa tekanan kompaksi dan sintering 500°C suhu dan kisaran 40 sampai 50 menit periode sintering menghasilkan maksimum jumlah Brinell kekerasan 47 BHN (Suwanda, T (2006)).

2.2 Sejarah Aluminium

Aluminium sebagai unsur terpisah pada tahun 1825 telah dipisahkan oleh seorang ahli fisika Denmark, Hans Christian Oersted (1777-1851) dan secara terpisah pada tahun 1827 dilakukan pula oleh ahli kimia Jerman, Fredrich Wohler (1799-1882). Ahli kimia Inggris Humprey Davy (1778-1829) telah berhasil memisahkan oksida logam pada tahun 1800 dan memberinya nama aluminium

Kemudian orang-orang Inggris mengubah ejaan dan pengucapan menjadi aluminium dengan menambahkan satu silabi.

Proses yang dilakukan Oersted untuk mengisolasi aluminium sangatlah sulit dan mahal, dan orang Amerika Charles Martin Hall (1863-1914) dan ahli kimia Perancis Paul Louis Tussaint Heroult (1863-1914) menemukan metode ekonomis hampir dalam waktu yang bersamaan di tahun 1886. Kedua orang itu mengembangkan metode elektrolit untuk memisahkan aluminium dan biji boksit yang mengandung oksida. Keduanya menggunakan arus listrik DC untuk menghasilkan oksida dalam berbagai tipe florida cair, dan kemudian secara elektrolis memisahkan cairan itu. Keduanya menemukan bahwa kriolit (florida aluminium sodium) adalah bahan yang paling baik, yang memungkinkan tercapainya titik didih yang rendah. Dalam proses yang dilakukan Heroult, sebuah elektroda grafit utama yang besar dicelupkan ke dalam sel grafit. Metode Hall, dengan dua elektroda, begitu berhasil sehingga dia mengurangi biaya logam aluminium dari yang sebelumnya sama dengan emas menjadi kurang dari 20 sen pound. Kedua orang ini masih sangat muda (sekitar 22 tahun) ketika mereka mengembangkan proses itu. Heroult akhirnya membangun sebuah firma di Swedia untuk membuat aluminium. Hall berhasil dalam membuat Pittsburg Reduction Company, perusahaan induk dan Aluminum Company of America (Alcoa) yang menghasilkan jutaan dollar.

Dengan biaya aluminium yang lebih murah, ia menjadi penting dalam banyak kagunaannya, terutama dalam badan pesawat terbang dan struktur balon udara yang bisa dikemudikan. Dengan dicampur logam yang lain, aluminium bisa menjadi ringan dan kuat. Misalnya, duraluminium, suatu campuran dari aluminium, tembaga, mangan, dan magnesium, yang digunakan dalam pembuatan balon udara Jerman Zeppelin. (Grjotheim, 1988).

2.3 Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik

udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida aluminium / alumina (Al_2O_3) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa. (Hartono, A.J., 1992). Sifat fisik aluminium ditunjukkan pada Tabel 2.1.

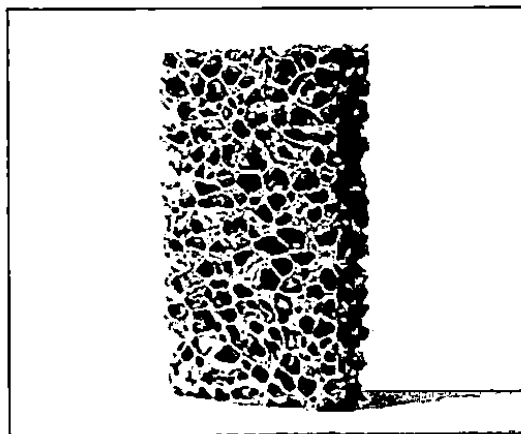
Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium (ASM Handbook 9th, 1984)

Nama, Simbol, dan Nomor	Aluminium, Al, 13
Sifat Fisik	
Wujud	Padat
Massa jenis	2,70 gram/cm ³
Massa jenis pada wujud cair	2,375 gram/cm ³
Titik lebur	933,47 K, 660,32°C, 1220,58°F
Titik didih	2792 K, 2519°C, 4566°
Kalor jenis (25°C)	24,2 J/mol K
Resistansi listrik (20°C)	28.2 nΩ m
Konduktivitas termal (300 K)	237 W/m K
Pemuaian termal (25°C)	23.1 μm/m K
Modulus Young	70 GPa
Modulus geser	26 GPa
Poisson ratio	0,35
Kekerasan skala Mohs	2,75
Kekerasan skala Vickers	167 MPa
Kekerasan skala Brinnel	245 MPa

2.4 Sejarah Logam busa (*metal foam*)

Porositas didefinisikan sebagai persentase ruang kosong dalam padatan (Ashby, M.F., 2000). Bahan berpori juga sering disebut sebagai padatan seluler (*cellular solid*), yang berarti gabungan sel/ kompartemen/rongga dengan tepi padat atau sisi permukaan tertutup atau terbuka. Bahan-bahan ini sangat umum di alam, contoh : kayu, gabus, spons dan karang. Bahan berpori dan logam

kombinasi yang menarik yang sifat fisik dan mekanik, seperti konduktivitas panas yang tinggi, berat jenis yang rendah dan permeabilitas tinggi. Manusia telah membuat bahan berpori atau bahan selular tujuan kayu artefak yang setidaknya 5000 tahun yang lalu di Mesir, gabus untuk tutup botol anggur juga telah dibuat sejak zaman Romawi (27 SM). Perkembangan terakhir di dunia ilmiah memberikan kesempatan kepada manusia untuk membuat bahan berpori sintesis yang berguna untuk aplikasi struktural dan fungsional ringan. Perkembangan teknologi bahan berpori sintesis yang pertama dibuat dengan menggunakan bahan polimer dimana sampai saat ini masih dipakai, sebagai contoh *styrofoam*, banyak digunakan sebagai cangkir kopi sekali pakai. Kemajuan teknologi menghasilkan cara untuk memproduksi material berpori dari bahan logam atau keramik dengan sifat dan aplikasi yang lebih menarik. Salah satu contoh logam berpori dapat dilihat Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Logam berpori (<https://www.inventables.com/technologies/aluminum-foam>)

Logam-logam berpori dan *metal foam* memiliki sifat yang menarik seperti kekuatan mekanik yang relatif sedang, penyerapan energi tinggi dan kekakuan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan yang diperoleh dari bahan polimer. Logam berpori lebih stabil dalam lingkungan yang keras dari pada polimer berpori. Pliny the Elder (77AD) memperkenalkan proses yang disebut granulasi, yang digunakan oleh Etruscan Gold-Smith untuk menghasilkan perhiasan, sebagai referensi yang pertama dalam membuat logam berpori.

Evolusi logam berpori di bidang teknik dimulai pada awal abad ke-20.

disinter. Sintering serbuk untuk membuat logam berpori telah menjadi metode fabrikasi yang berhasil untuk membuat filter, baterai dan bantalan pelumasan sendiri. Bahan-bahan ini masih dalam sangat dibutuhkan untuk berbagai aplikasi bahkan hari ini. Metode untuk membuat logam berpori dengan porositas tinggi telah diterbitkan dalam paten Prancis. Produksi massal logam berpori dimulai pada akhir 1950-an di Amerika Serikat, di mana penelitian dan pengembangan logam berpori dilakukan selama lebih dari 10 tahun. Sedangkan komersialisasi dari logam berpori dalam berbagai macam struktur dan aplikasinya telah dapat dilakukan dengan bantuan perkembangan teknologi di bidang logam berpori

2.5 Logam Busa

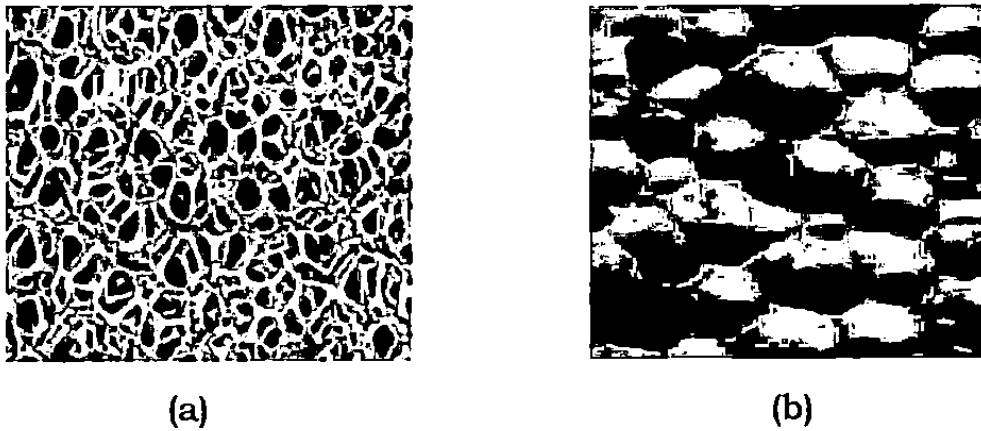
2.5.1 Definisi Logam Busa

Logam busa atau yang dikenal dengan istilah *Metal Foam* merupakan suatu *Advance Material* yang memiliki struktur berongga pada material logam yang solid dengan volume fraksi pori sebesar 75%-95%. Logam busa disebut juga dengan Cellular Material yang didefinisikan sebagai suatu "ruang" dalam material yang dibagi dalam cell-cell tertentu yang memiliki batas-batas antar cell yang terbentuk dari logam padat dan memiliki interior yang berongga.

2.5.2 Klasifikasi Logam Busa

Dilihat dari struktur porinya, logam busa ini memiliki dua jenis yaitu *Closed-Cell Foam* dan *Open-Cell Foam*. *Closed-Cell Foam* adalah Cellular Material yang tiap cell-nya tertutup dengan lebar tiap cell-nya 3 mm. Sedangkan *Open-Cell Foam* adalah cellular material yang tiap cell-nya terhubung dengan lebar cell-cell-nya sekitar 5 mm (Kennedy,A., 2012). Jenis-jenis dari logam busa

1. 4. Dilihat dari struktur porinya pada Gambar 2.2

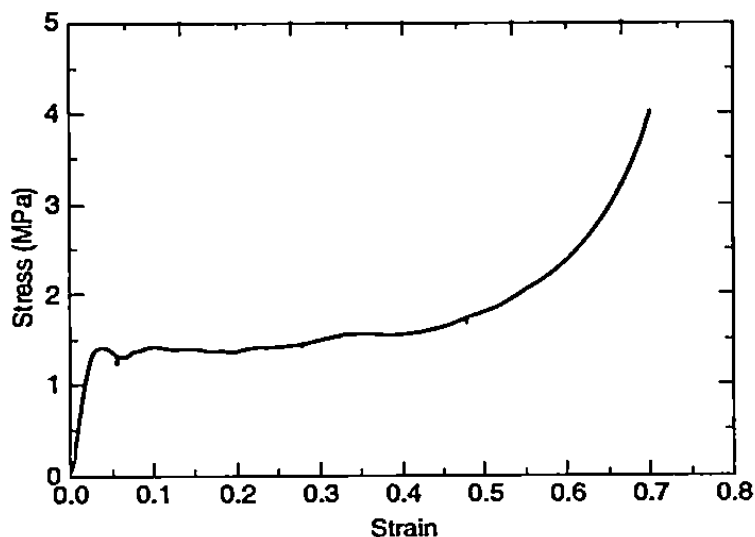


Gambar 2.2. Jenis-jenis Logam Busa: (a) Open-Cell Foam; (b) Closed-Cell Foam
(<http://www.metalfoam.net/intro.html>)

2.5.3 Sifat-sifat dari logam berpori

2.5.3.1 Sifat mekanik

Sebagian besar studi pada logam berpori bertujuan untuk mengenal sifat mekanik mereka, dimana terms ini senantiasa berhubungan dengan fungsinya sebagai peyangga beban. Bahan berpori pada umumnya dalam bidang struktur mekanik memiliki fungsi yang lebih sedikit dibandingkan dengan sifat fungsionalnya seperti sifat akustik dan luas permukaan. Namun, logam-logam berpori tetap membutuhkan sifat mekanik minimal untuk menghindari kegagalan atau kerusakan. Perilaku mekanik terutama perilaku kuat tekan dari bahan berpori adalah khas seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Kurva tegangan-regangan dari uniaxial compression test pada specimen

Daerah kurva tegangan-regangan ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu (1) daerah elastis, dimana beban diterima oleh dinding-dinding pori, (2) daerah plateau, dimana dinding-dinding pori kolaps tidak mampu menahan beban, deformasi mulai plastis terjadi, (3) daerah densifikasi, dimana dinding-dinding pori sudah menyatu dengan bagian bawah dan deformasi plastis semakin tinggi. Kekuatan tekan dari material berpori ditunjukkan pada titik dimana tegangan plateau mulai terjadi.

Kekuatan tekan dari material berpori dapat diprediksi dengan menggunakan persamaan 2.1 (Ashby, M.F., 2000) :

$$\frac{\sigma^*}{\sigma_s} = C \left(\frac{\rho^*}{\rho_s} \right)^n \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana σ^* dan σ_s masing-masing adalah kekuatan tekan dari material berpori dan material yang solid, dan ρ^*/ρ_s adalah densiti relatif dari material berpori terhadap kondisi solidnya, yang berharga 1 – fraksi volume dari pori-pori. C adalah konstanta bentuk yang berharga 0,1-1. Sedangkan n adalah scalling exponent yang memiliki nilai diantara 1,8-2,2 (Erk et al., 2008). Disamping kekuatan tekan, Young's modulus (kekakuan) dari material berpori juga merupakan salah satu sifat mekanis yang perlu diperhitungkan. Perhitungan dari modulus elastisitas diperoleh dari persamaan (2.1) sehingga menjadi persamaan (2.2) sebagai berikut (Erk et al., 2008):

$$\frac{E^*}{E_s} = C \left(\frac{\rho^*}{\rho_s} \right)^n \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana E^* and E_s masing-masing adalah Young's modulus dari material berpori dan material yang solid.

2.5.3.2 Sifat akustik

Logam berpori umumnya dianggap sebagai peredam suara yang bagus yang terutama digunakan dalam aplikasi akustik. Logam busa ini memiliki

..... untuk peredam suara. Namun, sifat akustik dari

logam berpori lebih kecil dari polimer berpori, sehingga logam berpori mempunyai potensi lebih di bidang rekayasa bersamaan dengan sifat mereka yang terkait mekanik dan termal. Tang et al.(2008) mengembangkan struktur berserat berpori dengan penyerapan akustik yang baik diperoleh bila daerah yang lebih tinggi porositas fokus terhadap gelombang suara. Pilon et al.(2004) mengembangkan penyerapan akustik pada aluminium berpori dengan unit sel berbentuk *tetrakaidecahedron*.

2.5.3.3 Sifat thermal

Sifat thermal dari logam berpori menjadi lebih menarik apalagi dikombinasikan dengan sifat konduktifitas, permeabilitas dan besarnya luas area untuk digunakan dalam berbagai aplikasi seperti alat penukar kalor, *heat sink*, *heat pipes*. Perpindahan panas dan konduksi dari logam berpori merupakan fenomena yang kompleks. Efisiensi dari perpindahan panas dipengaruhi oleh konduktifitas dari logam berpori, perpindahan panas antara logam berpori dan fluida yang digunakan, dan oleh penurunan tekanan di dalam saluran logam berpori tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar dari karakteristik tersebut dipengaruhi oleh parameter strukturnya (ukuran pori-pori dan distribusinya, porositas, konektifitas dari pori-pori dan kekasaran permukaan pori-pori), yang mana hal ini sulit untuk menentukannya secara menyeluruh. Oleh karena itu perkembangan dari riset di bidang ini masih sangat luas dan dapat menghasilkan alat bantu baru bagi perancang material.

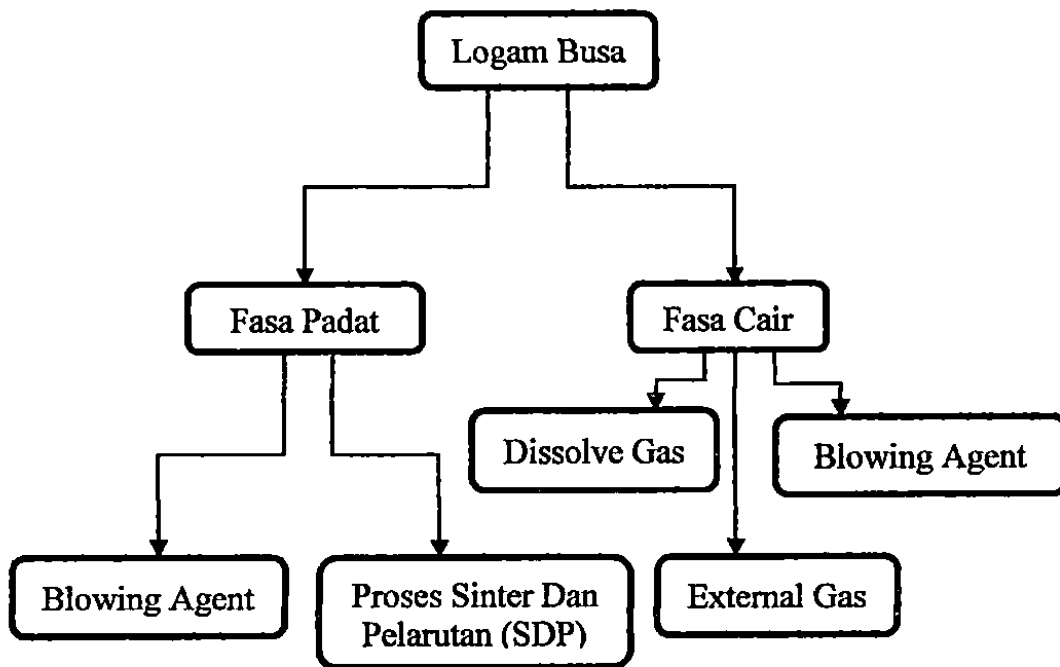
2.5.3.4 Sifat permeabilitas

Permeabilitas adalah salah satu sifat utama dari material berpori, dimana sifat itu memungkinkan air atau asam untuk mengalir ke dalam pori-pori yang dipakai pada sebagian besar aplikasi seperti untuk absorpsi thermal, filtrasi dan implant logam yang berpori. Tahanan aliran adalah salah satu faktor yang penting dalam permeabilitas, dimana tahanan yang rendah mengakibatkan energi aliran yang lebih rendah juga, sedangkan tahanan aliran yang tinggi memungkinkan

cells. Logam berpori lebih sesuai digunakan untuk aplikasi ini dibandingkan dengan polymer berpori disebabkan oleh lebih kecilnya logam berpori terjadi deformasi karena aliran fluida dalam pori-pori.

2.5.3.5 Pembuatan Logam Busa

Fabrikasi logam busa dapat dilakukan dengan dua cara yaitu melalui fasa padat dan cair. Semua jalur ini memiliki tujuan yang sama yaitu untuk menghasilkan porositas dengan ukuran dan bentuk yang diinginkan. Metode pembuatan loga busa bisa dilihat pada Gambar 2.4.

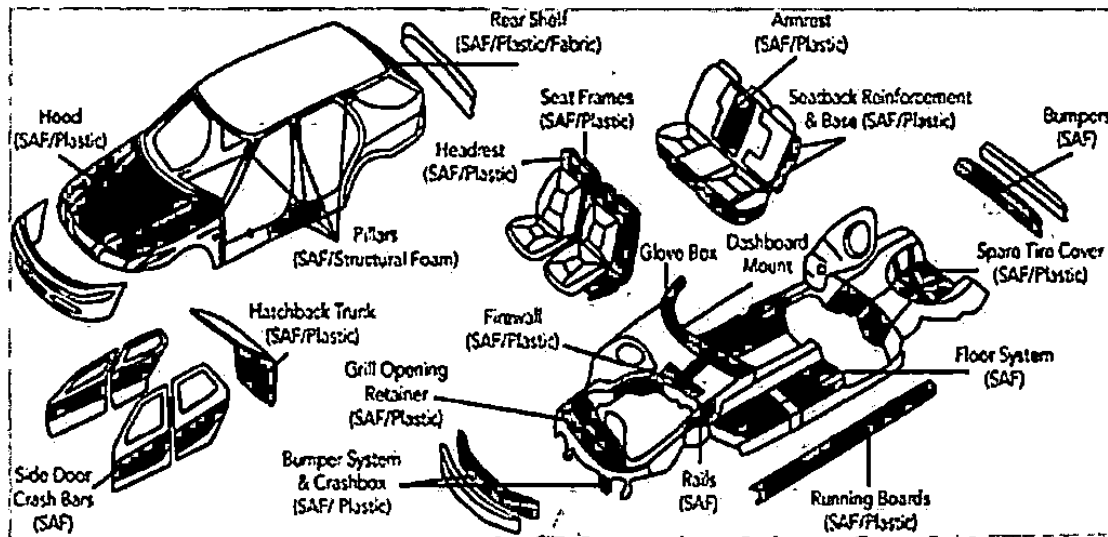


Gambar 2.4. Metode pembuatan logam busa (Srivastava V. C dan Sahoo K. L. 2007)

2.5.3.6 Sintering and Dissolution Process (SDP)

Sintering and dissolution process (SDP), yaitu proses pembuatan logam berpori melalui fasa padat dengan melibatkan proses metalurgi serbuk sepenuhnya, diikuti oleh proses disolusi untuk pembentukan pori. Kelebihan dari proses SDP adalah morfologi (bentuk dan ukuran) dan jumlah pori yang akan dibentuk dengan Urea (*carbamide*). Karena proses SDP ini melibatkan proses metalurgi serbuk, maka keuntungan lain yang akan didapat dari proses ini adalah produk memiliki bentuk hampir sama dengan cetakan, lebih mudah untuk melakukan paduan dan komposit yang sulit dicampur dengan

melakukan pengontrolan *density* dan porositas. Contoh penggunaan aluminium foam pada komponen mobil dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Penggunaan *aluminium foam* pada komponen mobil

(<http://www.metalfoam.net/intro.html>)

2.6 Urea (H_2NCONH_2)

Urea merupakan zat nutrisi yaitu sumber nutrisi bagi mikroba, dengan karakteristik seperti Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2. Karakteristik Urea (H_2NCONH_2) (<http://id.wikipedia.org/wiki/Urea>)

Karakteristik	Nilai
Berat Molekul	60,07 g/gmol
Titik Lebur	132,7 – 135 ⁰ C
Densitas	1,323 gr/cm ³
Kelarutan Dalam Air	108 gr/100 ml pada 20 ⁰ C 733 gr/100 ml pada 100 ⁰ C
Tingkat Keasaman (pKa)	0,18
Tingkat Kebasaan (pKb)	13,82
Berupa Padatan Berwarna Putih	-
Kristal Berbentuk Prismatik	-

Pada pembuatan logam busa, urea berperan sebagai pembentukan pori dengan metode fasa padat yaitu meralurgi serbuk. Untuk mendapatkan ukuran pori yang optimal, dilakukan pengontrolan berupa pengukuran butir urea sehingga mendapatkan ukuran dan bentuk yang seragam. Selain itu juga terhindar dari pengotor-pengotor yang ada pada urea. Penggunaan urea sebagai pembuatan pori tidak bereaksi secara kimia dengan logam aluminium. Metode ini dipilih supaya pelarutan urea agar terjadi pori lebih mudah.

2.7 Proses Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk adalah suatu kegiatan yang mencakup pembuatan benda komersial, baik yang jadi atau masih setengah jadi (disebut kompak mentah), dari serbuk logam melalui penekanan.

Proses ini dapat disertai pemanasan akan tetapi suhu harus berada dibawah titik cair serbuk. Pemanasan selama proses penekanan atau sesudah penekanan yang dikenal dengan istilah sinter menghasilkan pengikatan partikel halus. Dengan demikian kekuatan dan sifat-sifat fisis lainnya meningkat. Produk hasil metalurgi serbuk dapat terdiri dari produk campuran serbuk berbagai logam atau dapat pula terdiri dari campuran bahan bukan logam untuk meningkatkan ikatan partikel dan mutu benda jadi secara keseluruhan. Kobalt atau jenis logam lainnya diperlukan untuk mengikat partikel tungsten, sedang grafit ditambahkan pada serbuk logam bantalan untuk meningkatkan kualitas bantalan.

Proses metalurgi serbuk memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode lain seperti casting. Proses ini memiliki kemampuan untuk memfabrikasi komponen dengan tingkat kerumitan yang tinggi, namun dengan toleransi dimensi yang baik dan berkualitas. Selain itu konsumsi energinya rendah dan pemakaian material yang sangat efektif. Mekanisme yang terjadi pada proses metalurgi serbuk melibatkan proses difusi dan transfer material. Pada proses ini tahapan-tahapan yang terjadi antara lain karakterisasi serbuk (ukuran partikel, komposisi kimia, distribusi dan bentuk partikel), kemampuan sintering

2.8 Karakterisasi Serbuk

Karakteristik serbuk sangat menentukan kondisi proses metalurgi serbuk. Untuk mendapatkan kemudahan dan kualitas proses yang baik maka dilakukan tahapan berikut ini yaitu: ukuran serbuk, distribusi ukuran serbuk, bentuk serbuk, berat jenis serbuk, mampu alir (*flowability*), dan mampu tekan (*compressibility*).

2.8.1 Ukuran dan Distribusi Partikel Serbuk

Ukuran partikel ini dapat didefinisikan sebagai ukuran linier dari partikel oleh analisa ayak. Ukuran partikel menunjukkan dimensi partikel. Ukuran partikel akan berpengaruh terhadap porositas dan densitas bakalan serta sifat mekanis dari logam busa. Ukuran partikel juga akan menentukan stabilitas dimensi, pelepasan gas yang terperangkap dan karakteristik selama pencampuran. Dalam menentukan ukuran partikel harus berdasarkan teknik pengukuran dan bentuk partikelnya sehingga bentuk partikel ini akan berpengaruh terhadap pendefinisian ukuran partikel, misalnya bentuk partikel yang bulat akan dapat ditentukan berdasarkan diameternya. Akan tetapi bentuk partikel lainnya seperti *irregular* atau tidak teratur sangat sulit ditentukan ukurannya. Beberapa metode pengukuran serbuk antara lain: mikroskop, pengayakan, sedimentasi, konduktivitas listrik dan difraksi sinar-X.

Distribusi ukuran partikel adalah pengelompokan besar partikel dalam ukuran tertentu dan bertujuan untuk menampilkan hasil pengukuran kerapatan maksimum dari suatu partikel. Data ukurannya digunakan untuk melukiskan hasil pengukuran dan asumsi bentuk partikel. Selain itu juga akan terlihat kepadatan suatu partikel yang pada akhirnya akan menentukan densitas, porositas, dan kekuatan dari bakalan.

2.8.2 Bentuk Partikel Serbuk

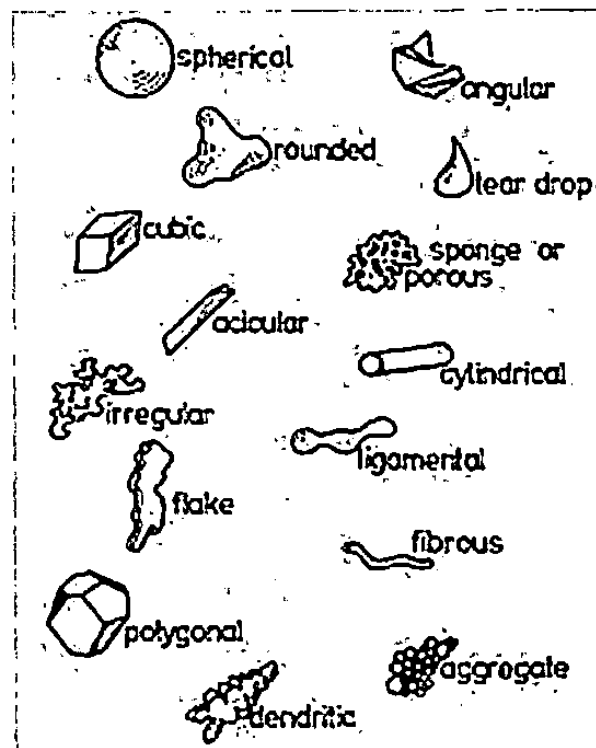
Bentuk partikel serbuk sangat mempengaruhi besarnya kontak antar partikel sehingga besarnya gaya gesekan antar partikel berhubungan dengan luas permukaan partikel serbuk. Dengan semakin kecilnya ukuran butir maka gaya gesek antar partikel semakin besar dan luas permukaan kontak antar partikel lebih

ikatan antar partikel secara difusi saat proses *sintering*. Selain itu serbuk-serbuk yang kasar akan memiliki luas permukaan kontak antar partikel yang sedikit pada saat dikompaksi, dan akan berakibat pada proses *sintering* yang kurang baik sehingga menurunkan sifat mekanik produk metalurgi serbuk

- *Acicular* : berbentuk jarum
- *Angular* : berbentuk polyhedral kasar dengan tepi tajam
- *Dendritic* : berbentuk Kristal dan bercabang
- *Fibrous* : berbentuk serabut yang beraturan atau tidak beraturan
- *Flaky* : berbentuk serpihan
- *Granular* : berbentuk tidak beraturan hampir bulat
- *Irregular* : berbentuk tidak beraturan atau tidak mempunyai simetri
- *Nodular* : berbentuk bulat dan tidak beraturan
- *Sphreroidal* : berbentuk bulat

Berdasarkan ISO 3252, bentuk partikel serbuk diklasifikasikan pada Gambar

2.6.



Selain kontak antar partikel serbuk, kereaktifan serbuk juga dipengaruhi oleh ikatan antar partikel serbuk, transfer material serbuk, transfer material saat dikompaksi, *compressibility*, yang pada akhirnya akan mempengaruhi *transport* perpindahan masa pada proses *sintering*.

2.8.3 Mampu Alir Serbuk (*Flowability*)

Mampu alir serbuk adalah karakteristik yang berkaitan dengan sifat alir serbuk untuk memenuhi ruang cetakan. Sifat ini berkaitan dengan gaya gesek antar partikel serbuk, maka sifat ini erat kaitannya dengan bentuk, ukuran, serta berat jenis dari partikel serbuk.

2.8.4 Mampu Tekan Serbuk (*Compressibility*)

Mampu tekan serbuk merupakan perbandingan volume serbuk mula-mula dengan volume benda yang ditekan yang nilainya berbeda-beda tergantung distribusi ukuran serbuk dan bentuk butirnya. Besarnya jumlah pemadatan yang dapat diterima suatu serbuk dengan memberikan tekanan merupakan mampu tekan serbuk. Besarnya mampu tekan serbuk dapat dipengaruhi oleh efek gesekan antar partikel. Misalnya, serbuk besi hasil atomisasi yang memiliki bentuk yang lebih teratur, lebih halus, dan sedikit porositas antar partikel akan memiliki mampu tekan dan *green density* yang lebih tinggi dari pada serbuk *sponge iron*.

2.8.5 Berat jenis Serbuk

Berat jenis serbuk sangat tergantung pada ukuran partikel, distribusi ukuran partikel, bentuk partikel, kondisi permukaan, efisiensi pemadatan serbuk, dan struktur partikel. Dalam metalurgi serbuk berat per satuan volume serbuk lepas dinyatakan sebagai berat jenis nyata serbuk atau *apparent density* sedangkan berat jenis setelah serbuk mengalami penekanan kompaksi untuk proses pemanasan (*sintering*). Dalam aplikasinya berat jenis serbuk hasil kompaksi kadang tidak homogen. Berikut ini merupakan beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi terjadinya ketidak homogenan tersebut, antara lain.

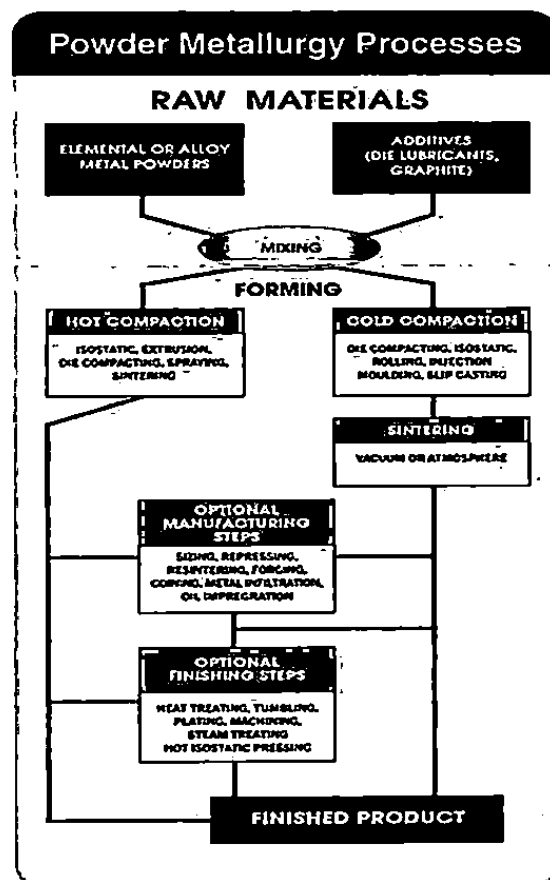
1. Memberi pelumas untuk mengurangi gesekan antar partikel dan gesekan

2. Mengatur perbandingan dimensi cetakan antara tinggi dengan lebar rongga cetakan (L/D). Semakin besar (L/D) maka distribusi akan tidak merata. Oleh karena itu, L/D sebaiknya kecil sehingga distribusi serbuk akan merata/ homogen.
3. Meningkatkan rasio penekanan kompaksi agar distribusi serbuk lebih baik.
4. Menggunakan penekanan dua arah (double punch) agar berat jenis serbuk lebih homogen.
5. Melakukan penekanan secara bertahap dari mulai yang paling rendah kemudian ditingkatkan tekanannya secara bertahap sampai titik optimum.

2.8.6 Proses Pembentukan Metalurgi Serbuk

Contoh proses pembentukan aluminium serbuk dapat dilihat pada Gambar

2.7.



Gambar 2.7. Proses Pembentukan Metalurgi Serbuk (<http://pustaka->

Metalurgi serbuk merupakan salah satu teknik produksi dengan menggunakan serbuk sebagai material awal sebelum proses pembentukan. Prinsip ini adalah memadatkan serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan dan kemudian memanaskannya di bawah temperatur leleh. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa 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*).

Proses metalurgi serbuk adalah merupakan proses pembuatan produk dengan menggunakan bahan dasar dengan bentuk serbuk yang kemudian di sinter yaitu proses konsolidasi serbuk pada temperatur tinggi yang di dalamnya termasuk juga proses penekanan atau kompaksi.

Proses metalurgi serbuk memiliki banyak keuntungan antara lain :

1. Efisiensi pemakaian bahan yang sangat tinggi dan hampir mencapai 100%
2. Tingkat terjadinya cacat seperti segregasi dan kontaminasi sangat rendah.
3. Stabilitas dimensi sangat tinggi.
4. Kemudahan dalam proses standarisasi dan otomatisasi
5. Tidak menimbulkan tekstur pada produk.
6. Besar butir mudah dikendalikan
7. Mudah dalam pembuatan produk beberapa paduan khusus yang susah didapatkan dengan proses pengecoran (*casting*).
8. Porositas produk mudah dikontrol
9. Cocok untuk digunakan pada material dengan kemurnian tinggi.
10. Cocok untuk pembuatan material komposit dengan matriks logam.

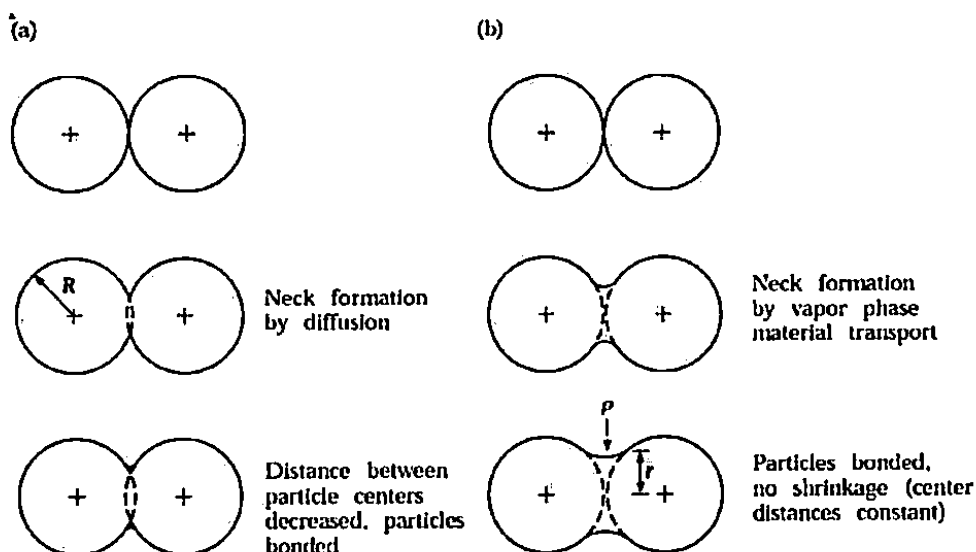
2.9 Proses Sinter

Sinter adalah salah satu tahapan metodologi yang sangat penting dalam ilmu bahan, terutama untuk bahan keramik. Selama sintering terdapat dua fenomena utama yaitu: pertama adalah penyusutan (*shrinkage*) yaitu proses

pertama dominan selama pemadatan belum mencapai kejenuhan, sedang kedua akan dominasi setelah pemadatan mencapai kejenuhan. Parameter sintering diantaranya adalah : temperature waktu penahanan, kecepatan pendinginan, kecepatan pemanasan.

Sintering biasanya digunakan pada sampel pada temperature tinggi. Dalam terminologi istilah *sintering* digunakan untuk menyatakan fenomena yang terjadi pada produk bahan, padat dibuat dari bubuk, baik logam/non logam. Sebuah kumpulan partikel dengan ukuran yang tepat dipanaskan sampai suhu antara $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ titik leleh, ini dalam orde menit selama perlakuan ini partikel-partikel bergabung bersama-sama.

Dari segi cairan, *sintering* dapat menjadi dua yaitu : sintering fase padat dan sintering fase cair. *Sintering* dengan fase padat adalah *sintering* yang dilaksanakan pada suatu temperature yang telah ditentukan, dimana dalam bahan semuanya tetap dalam fase padat. Proses penghilangan porositas dilakukan melalui transport massa. Jika dua partikel digabungkan dan dipanaskan pada suhu tertentu dua partikel ini akan berikatan bersama-sama. proses sinter ditunjukkan Gambar 2.8 berikut:



Gambar 2.8. Skema proses sinter serbuk logam (ASM international handbook, 1998)

Setelah dilakukan proses *sintering* terhadap sampel yang sebelumnya telah

Meningkatnya ikatan setelah proses sintering ini disebabkan timbulnya *liquid bridge (necking)* sehingga porositas berkurang dan bahan menjadi lebih kompak. Dalam hal ini ukuran serbuk juga berpengaruh terhadap kompaktibilitas bahan, semakin kecil ukuran serbuk maka porositas kecil dan luas kontak permukaan