

BAB 2

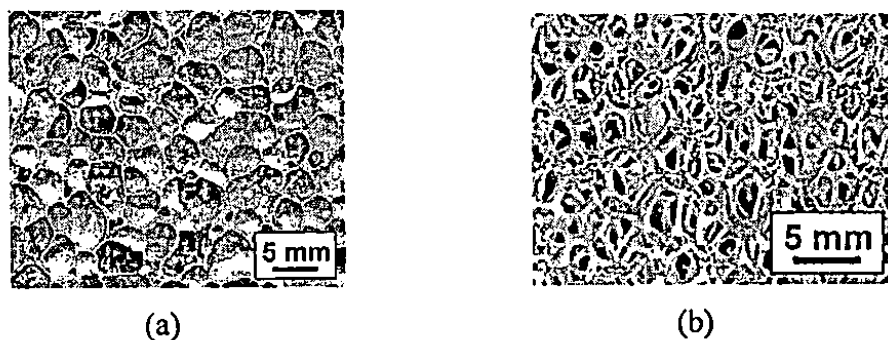
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan teori yang berhubungan dengan topik riset dan aplikasinya. Hal ini mencakup tentang pengertian, sifat mekanis, sifat akustik, sifat permeabilitas, sifat termal dan proses pabrikasi yang sudah dilakukan. Proses dengan metalurgi serbuk akan dibahas lebih spesifik dibanding proses lainnya.

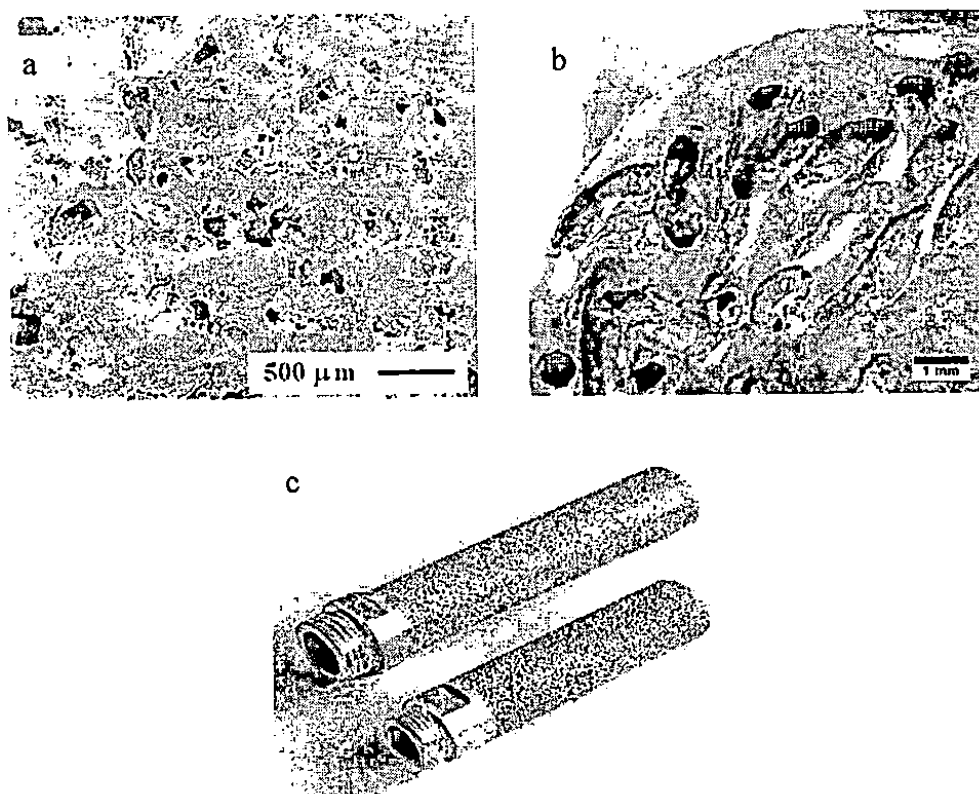
2.2 Logam Berpori

Porositas didefinisikan sebagai persentase ruang kosong dalam padatan (Ashby et al., 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 berpori (porous metal atau metal foam) dengan struktur seluler terkenal kombinasi yang menarik yang sifat fisik dan mekanik, seperti konduktivitas panas yang tinggi, berat jenis yang rendah dan permeabilitas tinggi. Dilihat dari struktur porinya, logam busa ini memiliki dua jenis yaitu closed-cell foam dan open-cell foam. Open-cell foam adalah cellular material yang tiap cellnya tertutup. Sedangkan open-cell foam adalah cellular material yang tiap cell-nya terhubung (gambar 2.1).



Gambar 0.1 : Jenis jenis logam berpori : (a) closed-cell foam; (b) open-cell foam (<http://www.metalfoam.net/intro.html>)

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 sintetis yang berguna untuk aplikasi struktural dan fungsional ringan. Perkembangan teknologi bahan berpori sintetis yang pertama dibuat dengan menggunakan bahan polimer dimana sampai saat ini masih dipakai, sebagai contoh *styrefoam*, banyak digunakan sebagai cangkir kopi sekali pakai. Selanjutnya, dengan kemajuan teknologi dihasilkan cara untuk memproduksi material berpori dari bahan logam atau keramik dengan sifat dan aplikasi yang lebih menarik. Beberapa contoh logam berpori dapat dilihat gambar in **Error! Reference source not found.**



Gambar 0.2 : (a). Foto SEM dari titanium alloy berpori (porositas 50%) yang difabrikasi menggunakan amonium hidrogen carbonat($(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$) sebagai space holder (Wang et al., 2009),, (b) Foto makro alumnium dengan lubang pori memanjang saling berhubungan yang difabrikasi menggunakan paduan Pb-Sn sebagai space holder (Nugroho, 2012), (c) Salah satu penggunaan metal foam dalam *heat exchanger* yang difabrikasi menggunakan metoda *liquid state processing*

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.

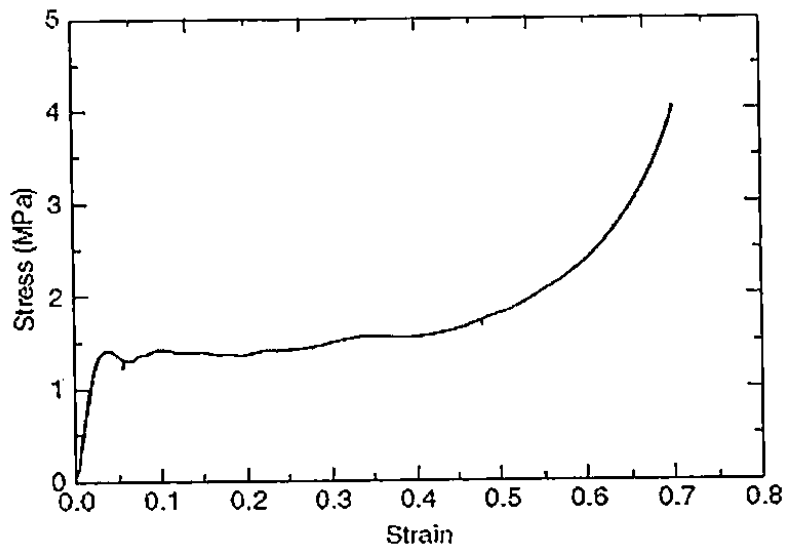
Evolusi logam berpori di bidang teknik dimulai pada awal abad ke-20. Pada tahun 1920, busa logam pertama dikembangkan dengan bantuan bubuk disinter. Sintering serbuk untuk membuat logam berpori telah menjadi metode fabrikasi yang berhasil untuk membuat filter, baterai dan bantalan pelumasan sendiri. 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

2.3 Sifat-sifat Logam Berpori

2.3.1 Sifat-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 [24]. Perilaku

... ..



Gambar 0.3 Kurva tegangan-regangan dari uniaxial compression test pada specimen aluminium berpori (porositas 90%)(Ashby et al., 2000)

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 (1)(Ashby et al., 2000) :

$$\frac{\sigma^*}{\sigma_s} = C \left(\frac{\rho^*}{\rho_s} \right)^n \quad (1)$$

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 $1 - \text{fraksi volume dari pori-pori}$. 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 (1)

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

2.3.2 Sifat Akustik

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

2.3.3 Sifat Termal

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.

2.3.4 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

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 waktu transisi yang diinginkan di dalam moda aliran massa reaktan dalam fuel 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.

2.4 Aplikasi dari Logam Berpori

Aplikasi dari logam berpori secara garis besar dibedakan menjadi dua, yaitu (1) aplikasi struktur, dan (2). aplikasi fungsional. Aplikasi struktur meliputi di bidang struktur ringan (ligh weight) untuk aerospace dan otomotive seperti struktur honeycomb yang dibuat dari aluminium berpori atau logam berpori lain yang dapat menurunkan biaya dan menaikkan performance. Boeing (USA) menggunakan komponen dari titanium sandwich berpori sedangkan inti aluminium berpori digunakan untuk komponen tailboom helikopter (Schwartz D.S et al., 1998)

Aplikasi fungsional dari logam berpori meliputi : alat penukar kalor dan alat pendinginan, filtrasi dan separasi, dan silencer. Sebagai penukar kalor, logam berpori yang mempunyai nilai konduktifitas thermal yang besar seperti tembaga dan aluminium berpori sangat dibutuhkan. Sedangkan untuk aplikasi logam berpori untuk alat pendinginan seperti heat sink pada komputer dan power electronics juga banyak digunakan (Long and Rack, 1998, Lu et al., 1998). Untuk aplikasi fungsional filtrasi, logam berpori mempunyai media kedalaman filtrasi yang sesuai dengan ukuran pori-pori dan panjang dari alur pori-pori sehingga logam berpori ini mampu menyerap-menahan kotoran dan juga mempunyai kapasitas penyerapan temperatur dan tekanan tinggi. Dikarenakan sifat permeabilitasnya yang rendah, secara alamiah, logam berpori ini sangat sesuai untuk memfilter gas, asam dan cairan lainnya. Selain itu kekuatan mekanis dan ketahanan korosi yang tinggi dari aluminium atau titanium membuat titanium berpori sering digunakan dalam lingkungan yang reaktif (contoh : exhaust pipes, smoke stakes) namun mempunyai umur penggunaan dan cleanability yang tinggi (<http://www.pickpm.com>

10. Aplikasi dari logam berpori adalah untuk

peredaman suara pada beberapa tingkat frekuensi, perubahan pulsa tekanan yang sering terjadi pada pompa atau kompresor, bahkan getaran mekanis pada mesin-mesin (<http://www.seac.nl>)

2.5 Fabrikasi dari logam Berpori

Metode untuk fabrikasi logam berpori telah banyak dikembangkan. Beberapa metode melalui proses fase cair (*liquid state processing*), sedangkan yang lainnya melalui proses metalurgi serbuk (*solid state processing*) dengan sintering proses. Metode metalurgi serbuk dengan space holder dikembangkan pada tahun 2000-an, dimana metode ini pertama kali dikenalkan oleh Bram, et al (2000) dalam pembuatan titanium berpori. Penelitian mereka menggunakan serbuk carbamide sebagai space holder yang kemudian dihilangkan pada suhu kurang lebih 200°C dengan tingkat kontaminasi yang minimal terhadap serbuk titanium. Kemudian dilakukan sintering pada suhu 1400°C untuk mendapatkan titanium berpori dengan porositas 60-77% dan ukuran pori-pori 0,1 – 2,4 mm yang ditentukan oleh ukuran butiran dari serbuk carbamide. Wen et al (2001) menggunakan amonium hidrogen bikarbonat sebagai space holder, dengan suhu dekomposisi 200°C dan suhu sintering titanium 1200°C selama 2 jam. Titanium berpori yang dihasilkan dapat mencapai 80%.

Penggunaan metode metalurgi serbuk dalam memfabrikasi aluminium berpori dengan blowing agent kombinasi antara TiH_2 dan $CaCO_3$ (Hobfield et al, 2011) dan NaCl (Nansaarng dan Sopha, 2008) juga dikembangkan dengan menghasilkan porositas mencapai 60%. Namun demikian keduanya membutuhkan tahapan proses ekstrusi untuk menjebak blowing agent tersebut dalam kondisi bertekanan tinggi dimana akan mengembang menjadi pori-pori bersamaan dengan menurunnya kekuatan creep dari aluminium pada saat proses sintering pada suhu 700an °C.

