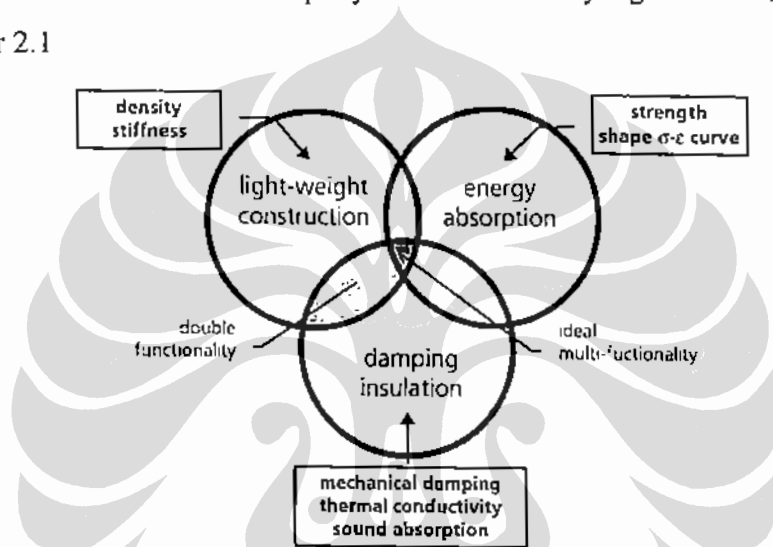


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. BUSA ALUMINIUM

Busa aluminium didefinisikan sebagai material aluminium yang mempunyai porositas tinggi, yaitu sampai mencapai 70%, atau dengan kerapatan relatif sampai 0,03 [12]. Pori-pori yang terdapat dalam busa aluminium menjadikan material ini mempunyai karakteristik yang menarik, seperti pada Gambar 2.1

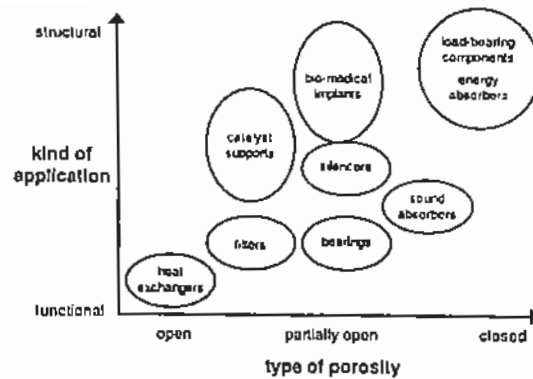


Gambar 2.1. Keunggulan Material Busa Aluminium [9]

Pori-pori yang terdapat dalam busa aluminium menjadikan material ini mempunyai karakteristik yang menarik sebagai berikut [9] :

- Material ringan : pori dalam busa aluminium, selain merendahkan nilai kerapatan material juga dapat memberikan nilai kekakuan spesifik yang lebih baik dibanding aluminium biasa.
- Penyerap energi : dengan adanya banyak pori dapat menyerap energi mekanik yang besar ketika mengalami deformasi, dan nilai kekuatan tarik hampir sama dengan kekuatan tekan.
- Peredam suara dan penghalang panas : pori dapat meredam getaran dan suara, dan menyebabkan nilai konduktifitas panas material menjadi rendah.

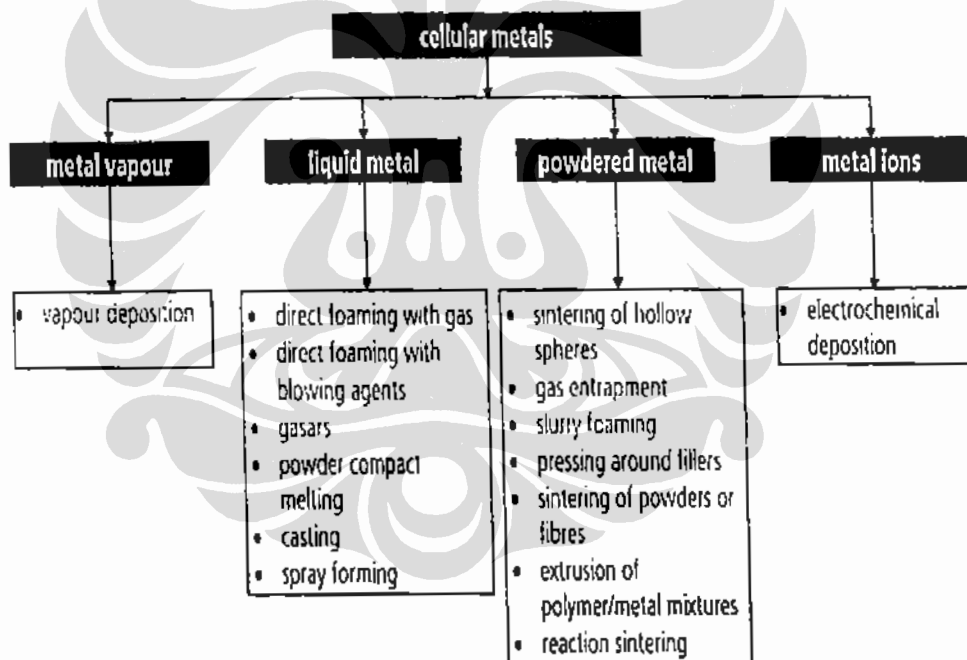
Ada dua jenis pori dalam busa aluminium, yaitu pori tertutup dan pori terbuka, yang masing-masing mempunyai kelebihan sesuai dengan penggunaannya.



Gambar 2.2. Penggunaan Busa Aluminium Sesuai Dengan Tipe Porinya [9]

2.2. PROSES PEMBUATAN BUSA ALUMINIUM

Busa aluminium mulai diproduksi pada tahun 1950, dan pada tahun 1980 mulai dikembangkan beberapa metode pembuatan busa aluminium baik lewat fasa



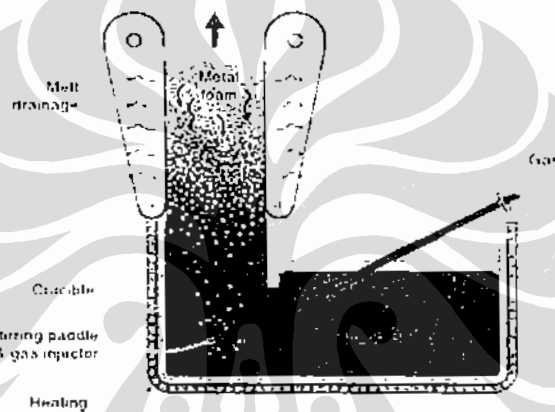
Gambar 2.3. Beberapa Proses Pembuatan Alumunium Foam [13]

cair maupun padat untuk memenuhi keperluan industri sebagai material struktur ringan, peredam suara, dan penyerap energi, baik di bidang konstruksi maupun industri transportasi [8,14-17], dan juga material penghalang panas (thermal insulation) yang baik [18].

Dari beberapa proses pembuatan busa aluminium diatas, ada beberapa yang digunakan untuk produksi secara komersial [12], yaitu :

2.2.1. Metoda Peniupan Gas

Metoda ini dikembangkan oleh Hydro Aluminium (Norwegia) dan Cymat Aluminium (Kanada). Pada metoda ini, seperti pada Gambar 2.3., digunakan serbuk silikon karbida (SiC), alumina (Al_2O_3), atau magnesium oksida (Mg_2O_3) sebagai partikel tambahan. Metoda ini dimulai dengan peleburan aluminium/paduannya, setelah melebur sempurna, partikel tambahan dimasukkan ke dalam cairan aluminium, dan diaduk sehingga serbuk tersebut merata di seluruh cairan aluminium [7,13].



Gambar 2.4. Proses Pembuatan Busa Aluminium dengan Metoda Peniupan Gas [19]

Serbuk oksida ini berfungsi sebagai penstabil gelembung di dalam cairan aluminium, dengan fraksi berat 5 – 15%, dan ukuran serbuk 0,5 – 25 mikron [20]. Dari penelitian lainnya disebutkan fraksi berat dan ukuran serbuk alumina yang digunakan adalah 10-20% dan 5-20 mikron [21].

Setelah proses pengadukan, dilakukan proses peniupan gas (udara, nitrogen, atau argon) ke dalam cairan melalui impeler yang berputar, sehingga menghasilkan gelembung gas yang tersebar dengan bagus. Gelembung yang terjadi akan mengapung di atas cairan, dan dikeluarkan dengan belt konveyor dan kemudian dilanjutkan dengan proses pembekuan [7,13].

Untuk menjaga agar busa aluminium yang dihasilkan tidak getas karena adanya oksida maka gas yang digunakan untuk pembentukan gelembung adalah gas inert. Dan untuk menjaga kekentalan cairan aluminium, proses pembuatan

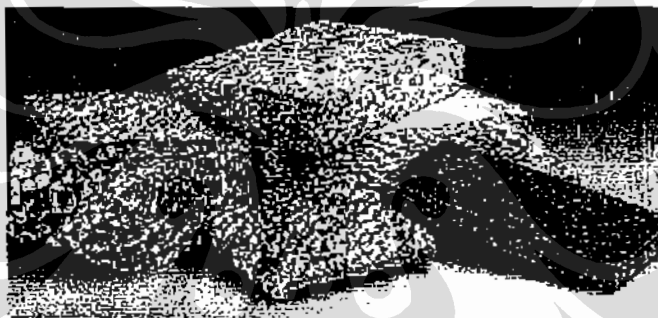
dilakukan dekat dengan titik leburnya. Busa aluminium yang dihasilkan mempunyai pori-pori dari 3-25 mm, dan kerapatan 0,069 – 0.54 g/cm³ [13].

Kelebihan metoda peniupan gas adalah sebagai berikut [11]:

- Murah dan proses produksinya paling sederhana
- Material dasar murah, dapat memakai sekrap MMC
- Ukuran dan kapasitas produksi besar
- Kerapatan dapat dikontrol dengan baik
- Pori yang terbentuk jenis pori tertutup

Sedang kelemahan metoda ini [11]:

- Kurang bagus untuk bentuk komponen yang agak kompleks
- Adanya partikel oksida (SiC, Al₂O₃, atau Mg₂O₃) menyebabkan proses pemotongan dan permesinan agak sulit.



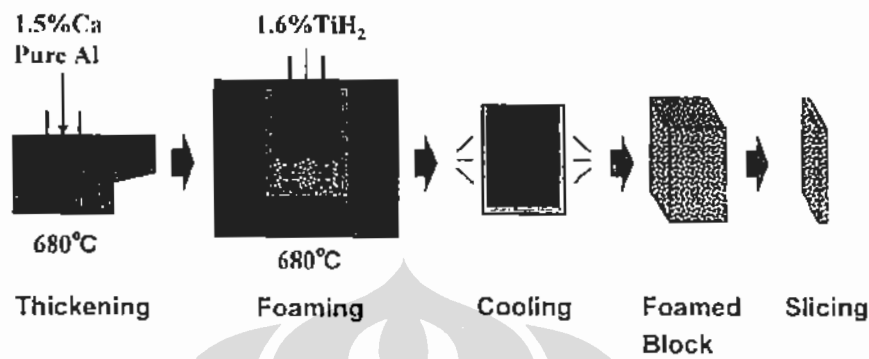
Gambar 2.5. Hasil Busa Aluminium dengan Proses Peniupan Gas [7]

2.2.2. Metoda *Blowing Agents*

Metoda ini menggunakan *blowing agents* yang ditambahkan ke dalam cairan aluminium. *Blowing agents* akan terurai karena adanya pengaruh panas dan melepas gas sehingga proses pembusaan terjadi. Shinko Wire Co., Amagasaki (Japan) telah memproduksi busa aluminium dengan cara ini sejak 1986 dengan kapasitas produksi lebih dari 1000 kg perhari [7].

Langkah pertama dari proses ini adalah dengan menambahkan logam kalsium sebesar 1,5% berat ke dalam cairan aluminium pada suhu 680°C. Cairan aluminium diaduk selama beberapa menit sehingga kekentalan cairan meningkat sampai 5 kalinya dan membentuk kalsium oksida (CaO), kalsium aluminium oksida (CaAl₂O₄) atau Al₄Ca. Setelah itu *blowing agents* yang berupa titanium hydride (TiH₂) ditambahkan ke dalam cairan dan melepaskan gas hidrogen di

dalam cairan panas aluminium kental. Proses pembusaan ini dilakukan di dalam cetakan pada tekanan tetap. Setelah membeku, busa aluminium yang dihasilkan dikeluarkan dari cetakan [7].



Gambar 2.6. Proses Pembuatan Busa Aluminium dengan Metoda *Blowing Agents* [7]

Diperlukan ketepatan dalam parameter-parameter yang dipakai sehingga menghasilkan pori-pori yang homogen. Di pasaran, busa aluminium yang dihasilkan dengan metoda ini disebut *alporas*. Busa aluminium yang dihasilkan mempunyai pori rata-rata 2-10 mm, dan kerapatan 0.18-0.24 g/mm³.

Kelebihan dari metoda ini [11] :

- Proses pembuatan sederhana
- Bentuk yang komplek bisa dihasilkan
- Struktur busa aluminium yang dihasilkan relatif homogen
- Pori yang terbentuk pori tertutup

Kekurangan dari metoda ini :

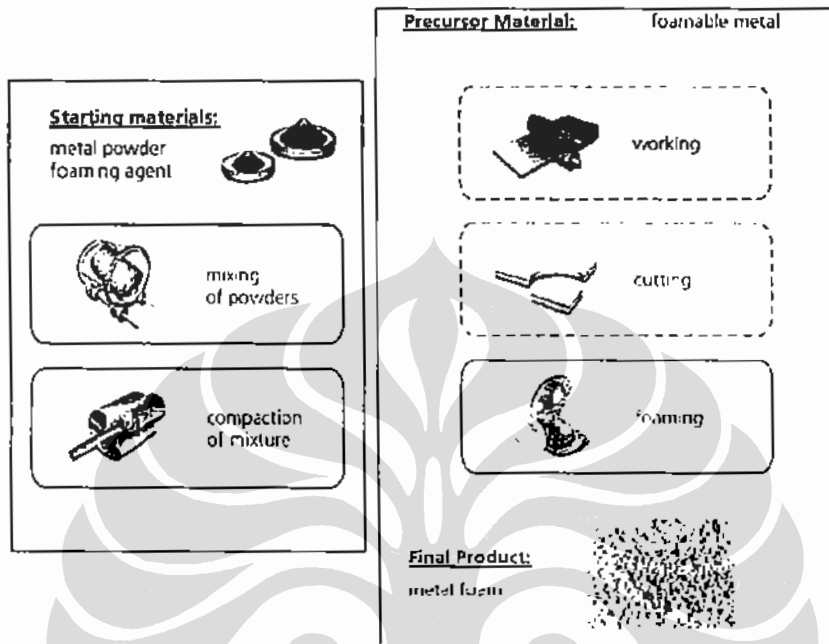
- Proses pembuatan mahal
- Sulit mengontrol ukuran pori dan kerapatan busa aluminium yang dihasilkan

2.2.3. Metoda Serbuk

Proses produksi ini dimulai dengan pencampuran serbuk metal dengan *blowing agents*, dan dilanjutkan proses kompaksi sampai kerapatan tertentu (*semi-finished product*).

Pada prinsipnya, kompaksi dapat dilakukan dengan berbagai cara, baik dengan kompresi uniaksial ataupun isostatik, ekstrusi, maupun *rolling*, yang pada

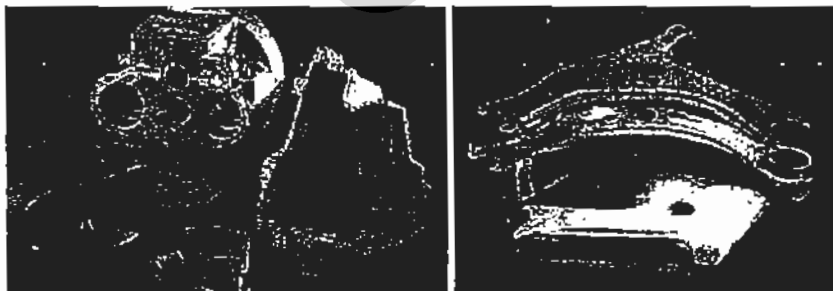
intinya *blowing agents* harus benar-benar terikat oleh serbuk aluminium. Tahap selanjutnya dilakukan perlakuan panas sampai mendekati titik lebur aluminium, sehingga *blowing agents* akan terurai dan melepaskan gas ke dalam matriks aluminium. Dipasaran, busa aluminium ini biasa disebut alulight [7].



Gambar 2.7. Proses Pembuatan Busa Aluminium dengan Metoda Pembusaan Serbuk [7]

Kelebihan metoda ini [11]:

- Proses pembuatan relatif sederhana
- Dapat untuk pembuatan komponen yang rumit
- Kerapatan dapat bervariasi
- Pori yang terbentuk pori tertutup



Gambar 2.8. Contoh Komponen Busa Aluminium Dengan Proses Serbuk [11]

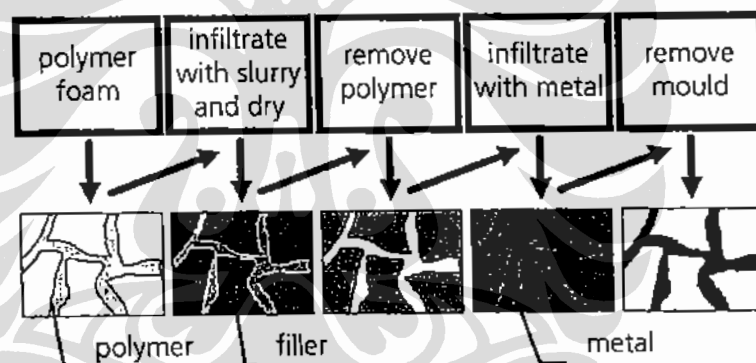
Kekurangan metoda ini :

- Proses pembuatan lebih mahal dibanding lewat fasa cair

- Ukuran terbatas
- Sulit mengontrol ukuran pori

2.2.4. *Investment Casting* dengan Busa Polimer

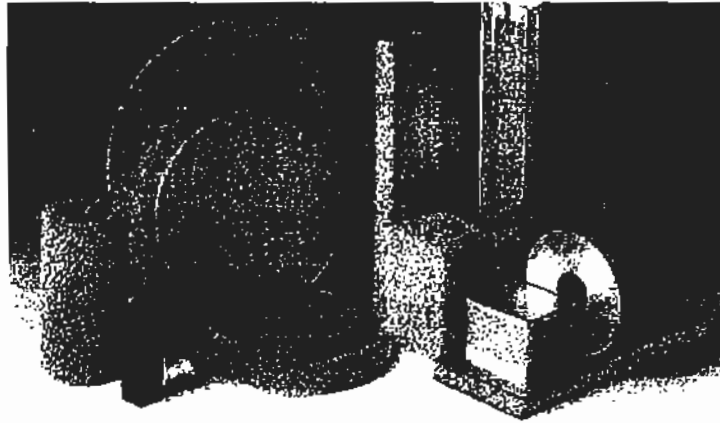
Proses ini merupakan proses pembuatan busa aluminium yang proses pembusaannya dilakukan secara tidak langsung, seperti tampak pada Gambar 2.9. Menurut proses ini, busa polimer, misal busa poliuretan, yang kemudian diisi dengan material yang tahan panas, seperti campuran dari mullite, fenolic resin, dan kalsium karbonat. Setelah itu, busa polimer dikeluarkan dengan pemanasan dan cairan aluminium dituangkan ke dalamnya. Setelah proses pembekuan cairan aluminium, cetakan (material tahan panas) dikeluarkan dari aluminium yang sudah membeku, seperti dengan air bertekanan, sehingga terbentuklah busa aluminium. Dipasaran, busa aluminium ini biasa disebut *Duocel*, dan mempunyai tingkat porositas 80-97% [7].



Gambar 2.9. Proses Pembuatan Busa Aluminium Dengan Metoda *Investment Casting* [7]

Kelebihan metoda ini [11] :

- Bisa digunakan untuk menghasilkan komponen dengan bentuk rumit
- Pori yang dihasilkan dapat digunakan sebagai filter
- Mempunyai tingkat peredaman suara yang bagus
- Pori yang terbentuk jenis pori terbuka



Gambar 2.10. Beberapa Komponen Busa Aluminium Hasil

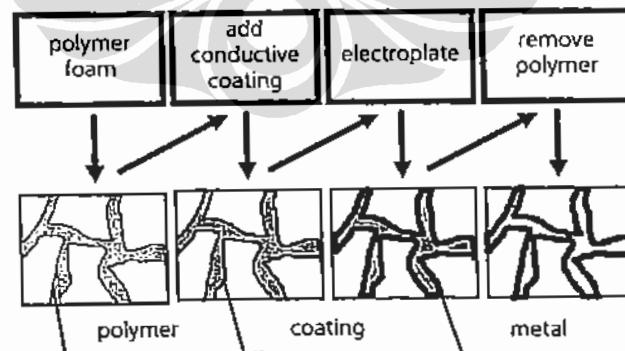
Investment Casting [11]

Kekurangan metoda ini :

- Mahal
- Ukuran sangat terbatas

2.2.5. Metoda *Vapor/ Elektrodeposisi*

Proses pembuatan busa aluminium dengan cara ini dimulai dengan melapisi busa polimer dengan suatu material yang mempunyai konduktifitas baik. Proses ini dapat dilakukan dengan memasukkan busa polimer ke dalam cairan material konduktif (grafit atau karbon). Setelah busa polimer terlapisi dengan material konduktif, kemudian dilakukan proses elektroplating. Setelah proses ini, busa polimer yang tersisa dikeluarkan dengan proses pemanasan. Busa aluminium yang dihasilkan dari metoda ini mempunyai ukuran pori 0,5-3,2 mm [7].



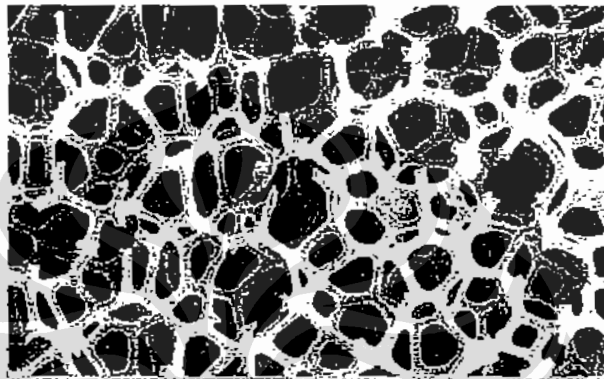
Gambar 2.11. Proses Pembuatan Busa Aluminium Dengan Metoda Elektrodeposisi [7]

Kelebihan metoda ini [11]:

- Proses membutuhkan energi yang sedikit
- Produksi bisa dalam jumlah besar
- Pori yang terbentuk jenis pori terbuka

Kekurangan metoda ini :

- Bentuk produk sangat terbatas
- Proses lumayan mahal



Gambar 2.12. Busa Aluminium Hasil Metoda Elektrodeposisi [11]

Dan properties dari busa aluminium hasil dari proses pembuatan dengan metoda-metoda di atas dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Properties Busa Aluminium Dari Berbagai Proses Produksi [11]

<i>Properties</i>	<i>Alporas (Blowing agents)</i>	<i>Cymat (Gas injection)</i>	<i>Alulight (Powder)</i>	<i>Duocel (Investment Casting)</i>	<i>Incofoam (Vapor/Electro deposition)</i>
<i>Relative Density</i>	0.07-0.2	0.03-0.2	0.1-0.35	0.05-0.1	0.03-0.04
<i>Young's Modulus (GPa)</i>	0.4-1.0	0.02-2.0	1.7-12	0.06-0.3	0.4-1.0
<i>Poisson's Ratio</i>	0.31- 0.34	0.31-0.34	0.31-0.34	0.31-0.34	0.31-0.34
<i>Elastic Limit (MPa)</i>	1.6-1.8	0.04-7.0	2.0-20	0.9-2.7	0.6-1.1
<i>Tensile Strength (Mpa)</i>	1.6-1.9	0.05-8.5	2.2-30	1.9-3.5	1.0-2.4
<i>Compressive strength (Mpa)</i>	1.3-1.7	0.04-7.0	1.9-14	0.9-3.0	0.6-1.1
<i>Thermal Conductivity (W/m.K)</i>	3.5-4.5	0.3-10	3.0-35	6.0-11	0.2-0.3
<i>Thermal Expansion (10⁶/K)</i>	21-23	19-21	19-23	22-24	12-14

Secara ringkas masing-masing proses pembuatan busa aluminium mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Ringkasan Kelebihan dan Kekurangan Proses Pembuatan Busa Aluminium [11]

Jenis Proses	Kelebihan	Kekurangan
Peniupan Gas	<ul style="list-style-type: none"> -Murah dan proses produksinya paling sederhana -Material dasar murah, dapat memakai sekrap MMC -Ukuran dan kapasitas produksi besar -Kerapatan dapat dikontrol dengan baik -Pori yang terbentuk jenis pori tertutup 	<ul style="list-style-type: none"> -Kurang bagus untuk bentuk komponen yang agak kompleks -Adanya partikel oksida (SiC, Al₂O₃, atau Mg₂O₃) menyebabkan proses pemotongan dan permesinan agak sulit.
<i>Blowing agents</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Proses pembuatan sederhana -Bentuk yang komplek bisa dihasilkan -Struktur busa aluminium yang dihasilkan relatif homogen - Pori yang terbentuk pori tertutup 	<ul style="list-style-type: none"> -Proses pembuatan mahal -Sulit mengontrol ukuran pori dan kerapatan busa aluminium yang dihasilkan
Metoda Serbuk	<ul style="list-style-type: none"> -Proses pembuatan relatif sederhana -Dapat untuk pembuatan komponen yang rumit -Kerapatan dapat bervariasi -Pori yang terbentuk pori tertutup 	<ul style="list-style-type: none"> -Proses pembuatan lebih mahal dibanding lewat fasa cair -Ukuran terbatas -Sulit mengontrol ukuran pori

<p><i>Investment Casting</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> -Bisa digunakan untuk menghasilkan komponen dengan bentuk rumit -Pori yang dihasilkan dapat digunakan sebagai filter -Mempunyai tingkat peredaman suara yang bagus -Pori yang terbentuk jenis pori terbuka 	<ul style="list-style-type: none"> -Proses mahal -Ukuran sangat terbatas
<p><i>Vapor/ Elektro deposition</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> -Proses membutuhkan energi yang sedikit -Produksi bisa dalam jumlah besar -Pori yang terbentuk jenis pori terbuka 	<ul style="list-style-type: none"> -Bentuk produk sangat terbatas -Proses lumayan mahal

2.3. FAKTOR-FAKTOR YANG PERLU DIPERHATIKAN DALAM PEMBUATAN ALUMINIUM FOAM

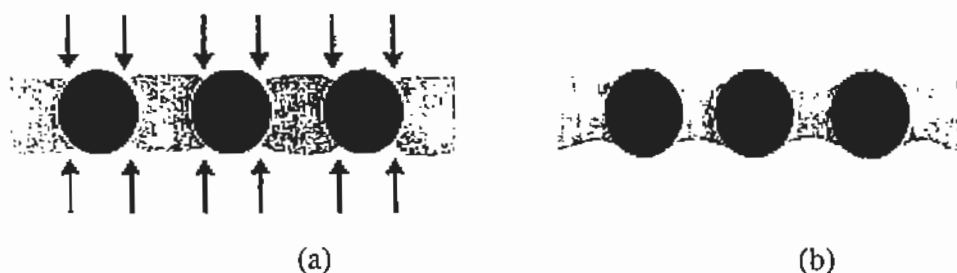
Seperti sudah disebutkan dalam Bab I, tentang batasan masalah dalam penelitian ini, maka disini yang dibahas terbatas pada faktor-faktor yang mempengaruhi di dalam pembuatan busa aluminium dengan metoda peniupan gas.

Prinsip pembuatan busa aluminium dengan sistem peniupan gas (*gas injection*) adalah dengan cara meniupkan gas, seperti argon, nitrogen, dan oksigen ke dalam cairan aluminium/ *aluminium alloy* sehingga terbentuk gelembung dalam cairan aluminium dan setelah didinginkan maka terbentuklah aluminium yang berpori (*aluminium foam*). Faktor yang paling penting dalam proses ini adalah mekanisme stabilisasi gelembung gas yang ditiupkan ke dalam cairan aluminium, sehingga setelah cairan aluminium membeku gelembung tadi tetap ada dan membentuk pori. Dan peningkatan stabilisasi gelembung dapat dilakukan salah satunya dengan menambah serbuk keramik atau campuran (*alloy*) ke dalam cairan aluminium [22].

Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas gelembung pada cairan aluminium [21]:

2.3.1. Faktor Pembasahan Serbuk Keramik oleh Cairan Aluminium

Pembasahan terhadap serbuk keramik di dalam cairan aluminium berpengaruh terhadap stabilitas gelembung, semakin baik pembasahan serbuk keramik oleh cairan aluminium, semakin stabil gelembung yang terjadi. Pada pembasahan partikel keramik yang kurang bagus, gelembung akan mudah pecah [23].



Gambar 2.13. Ilustrasi Mekanisme Kemampubasahan (*Wettability*)

Partikel (a) Partikel tidak terbasahi oleh cairan (*non-wetting particles*) (b)

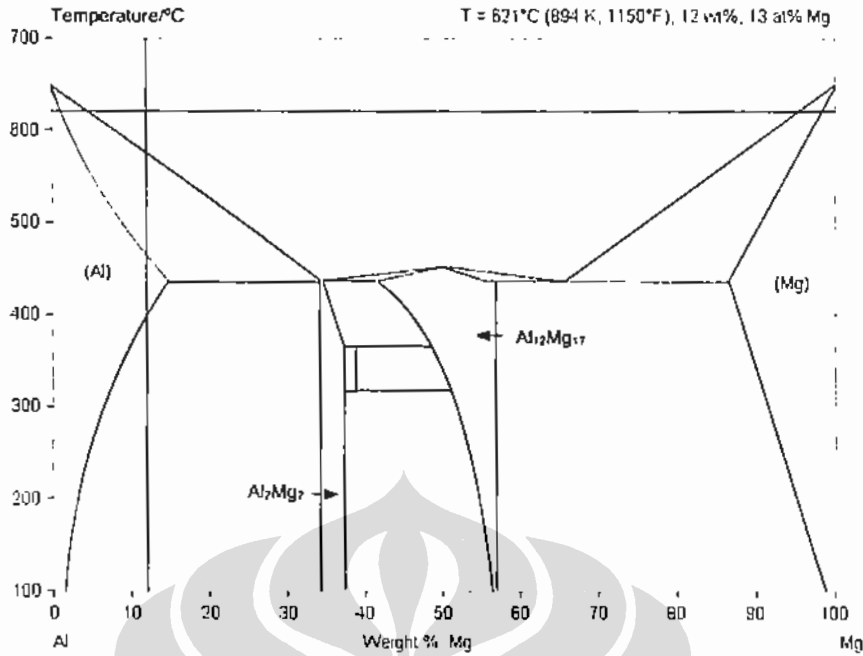
Partikel terbasahi cairan dengan baik (*wetting particles*). [23]

Salah satu cara untuk meningkatkan mampu basah partikel (serbuk keramik) dalam cairan aluminium adalah dengan menambahkan *alloy* di dalam cairan aluminium.[24] Sehingga di dalam pembuatan busa aluminium ini perlu diperhatikan komposisi material dasar aluminium yang dipakai. Ada beberapa material dasar yang biasa digunakan dalam proses ini :

Tabel 2. 3. Beberapa Material Dasar Untuk Pembuatan Busa Aluminium [25]

Raw material designations	Si, wt%	Fe, wt%	Cu, wt%	Mn, wt%	Mg, wt%	Ni, wt%	Particles, vol%
Al99				0.3			No
AlSi10SiC720p	10.07	0.97	3.13	0.59	0.39	1.44	SiC, 20
AlSi10SiC710p	10.07	0.97	3.13	0.59	0.39	1.44	SiC, 10
AlSi9Mg0.6SiC720p	9	0.2			0.6		SiC, 20
AlSi9Mg1.2SiC720p	9	0.2			1.2		SiC, 20
AlMg1SiCu/Al ₂ O ₃ /22p	0.56	0.13	0.23	0.002	1.03	0.001	Al ₂ O ₃ , 22
AlMg1SiCu/Al ₂ O ₃ /10p	0.40-0.8	0.7 max	0.30	0.004	0.740	0.00	Al ₂ O ₃ , 10
AlMg1SiCu/Al ₂ O ₃ /6.8p	0.40-0.8	0.7 max	0.15-0.40	0.15 max	0.8-1.2		Al ₂ O ₃ , 6.8
AlMg1SiCu/Al ₂ O ₃ /5.2p	0.40-0.8	0.7 max	0.15-0.40	0.15 max	0.8-1.2		Al ₂ O ₃ , 5.2
AlSi2/Al ₂ O ₃ /10p	2	0.7 max	0.31	0.005	0.697	0.03	Al ₂ O ₃ , 10
AlSi5/Al ₂ O ₃ /10p	5	0.7 max	0.27	0.008	0.680	0.03	Al ₂ O ₃ , 9.5
AlSi10Fe/Al ₂ O ₃ /10p	10	0.7 max	0.28	0.032	0.644	0.04	Al ₂ O ₃ , 9
AlSi10Cu3/Al ₂ O ₃ /10p	10	0.7 max	2.57	0.031	0.537	0.04	Al ₂ O ₃ , 9
AlSi10Cu3Ni1.5/Al ₂ O ₃ /10p	10	0.7 max	2.71	0.033	0.506	0.08	Al ₂ O ₃ , 9
AlSi10Cu3Ni1.5Mg3/Al ₂ O ₃ /10p	10	0.7 max	2.03	0.035	3.249	0.73	Al ₂ O ₃ , 9
AlSi10SiC + Al ₂ O ₃ /10p+0.5p	10.07	0.97	3.13	0.59	0.39	1.44	SiC, 10; Al ₂ O ₃ , 0.5

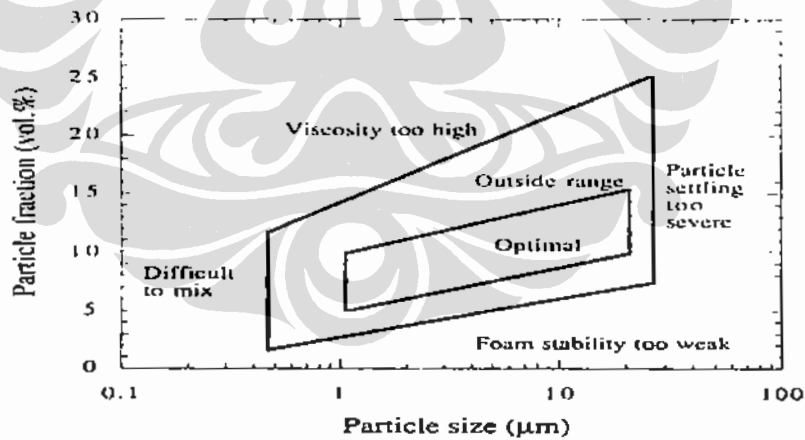
Selain berasal dari material aluminium matriks komposit, material dasar *aluminium foam* dapat berasal dari aluminium paduan yang ditambahkan dengan partikel keramik (SiC atau Al₂O₃) dan dilakukan proses sebagaimana pembuatan komposit. Dari tabel 2, dapat dilihat bahwa material dasar harus mengandung serbuk keramik (SiC atau Al₂O₃) yang merupakan partikel penstabil gelembung pada aluminium saat fasa cair. Dan pada penelitian ini akan dipakai material dasar paduan Al-12Mg.



Gambar 2.14. Diagram Fasa Al-Mg [26]

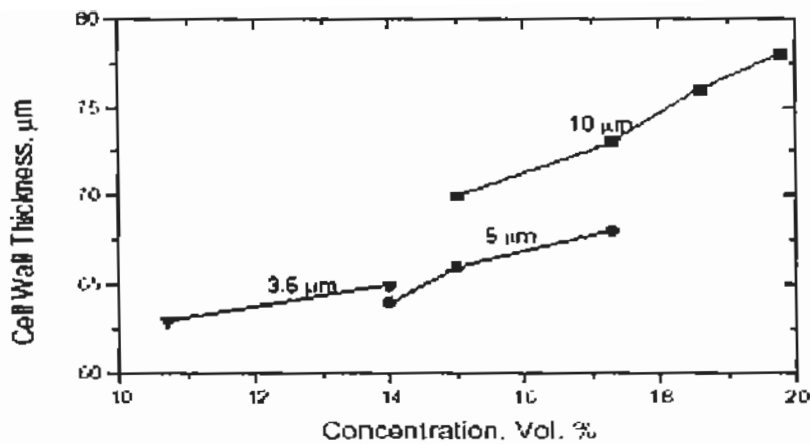
2.3.2. Fraksi dan Ukuran Serbuk Keramik

Seperti pada Gambar 2.13, terlihat adanya fraksi dan ukuran partikel sehingga menghasilkan stabilitas gelembung yang optimal, dari gambar 4 terlihat ukuran partikel optimal adalah 1-20 mikron dengan fraksi berat 5%-20% [27].



Gambar 2.15. Pengaruh Ukuran Partikel dan Fraksi Partikel terhadap Stabilitas Gelembung [27]

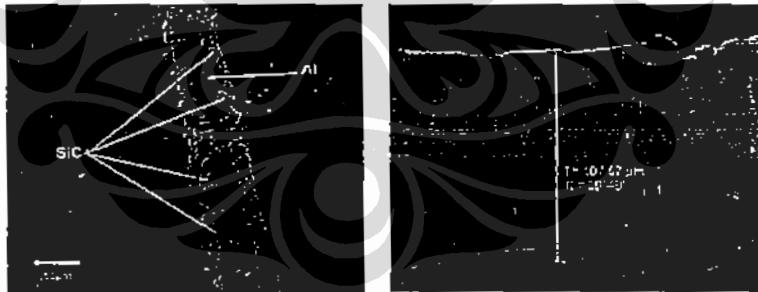
Konsentrasi partikel tambahan juga mempengaruhi tebal dinding pori (*cell wall thickness*), semakin tebal dinding pori akan meningkatkan stabilitas gelembung sehingga kemampuan pembentukan pori (*foamability*) meningkat [28].



Gambar 2.16. Pengaruh Konsentrasi Serbuk Alumina terhadap Dinding Pori Pada suhu Peniupan 660 °C [28]

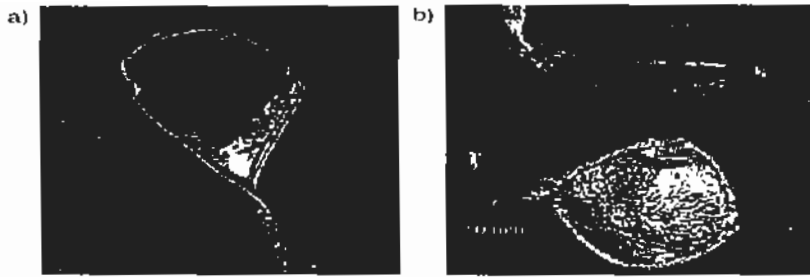
Lapisan di dinding gelembung apabila terlalu tipis, maka gelembung gas yang terjadi akan tidak stabil, sehingga gelembung akan mudah pecah. Gelembung akan tidak stabil atau mudah pecah apabila tebal dinding gelembung di bawah 30 mikron [25].

Untuk membuktikan adanya pengaruh partikel tambahan pada stabilitas gelembung, sehingga terbentuk pori setelah proses pendinginan, maka dilakukan uji coba dengan menggunakan rangka kawat (*wire frame*) berbentuk lingkaran,



Gambar 2.17. Gambar SEM Lapisan (a) Irisan Aluminium antara Dua Pori [8] (b) Potongan Dinding Pori AlMg1SiCu/Al₂O₃/10p [25]

dimana rangka kawat dicelupkan ke dalam cairan aluminium. Cairan aluminium yang pertama tidak mengandung partikel tambahan (keramik), dan cairan aluminium yang kedua mengandung partikel tambahan (keramik), dan hasilnya adalah pada cairan aluminium pertama tidak terbentuk lapisan tipis aluminium pada rangka kawat (*wire frame*), dan rangka kawat (*wire frame*) yang dicelupkan pada cairan aluminium kedua terbentuk lapisan tipis aluminium [29].

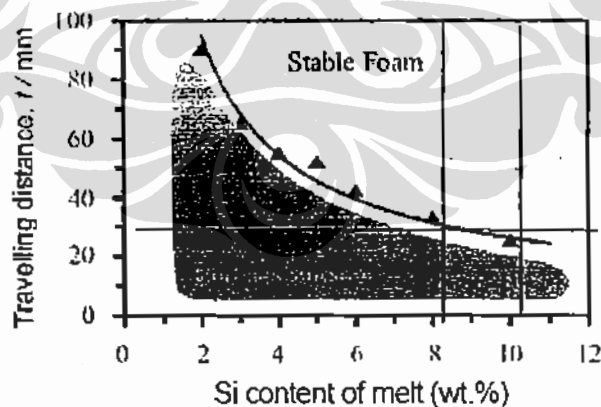


Gambar 2.18. a) Cairan alumunium tanpa partikel aditif. b) Cairan alumunium dengan partikel aditif [29]

2.3.3. Ketinggian Cairan Aluminium

Ketinggian cairan alumunium ini mempengaruhi jarak tempuh gelembung, dimana semakin jauh jarak tempuh gelembung, semakin stabil gelembung yang terjadi. Semakin jauh jarak tempuh gelembung, semakin stabil gelembung yang terjadi. Dengan semakin jauhnya jarak tempuh gelembung gas dalam cairan alumunium, maka semakin banyak partikel tambahan yang menyelubungi gelembung gas sehingga gelembung gas menjadi lebih stabil [8].

Seperti pada Gambar 2.19 dan 2.20, terlihat jarak tempuh gelembung minimal yang dihubungkan dengan kandungan serbuk SiC dalam cairan alumunium. Semakin jauh jarak tempuh gelembung, maka serbuk keramik akan semakin banyak yang terikat, sehingga stabilitas gelembung meningkat pula



Gambar 2.19. Grafik Hubungan Stabilitas Gelembung dengan Jarak Tempuh Gelembung dan Konsentrasi Partikel Keramik pada alloy A356, T = 727 °C [21]