

**FABRIKASI ALUMINIUM FOAM DENGAN METODE MELT ROUTE
MENGUNAKAN NaCl KRISTAL UKURAN BUTIR U.S MESH 4-16**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat

Strata-1 Pada Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun Oleh :

**Ilham Firmansyah
20110130005**

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2015

**FABRIKASI ALUMINIUM FOAM DENGAN METODE MELT ROUTE
MENGUNAKAN NaCl KRISTAL UKURAN BUTIR U.S MESH 4-16**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat

Strata-1 Pada Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun Oleh :

**Ilham Firmansyah
20110130005**

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2015

LEMBAR PENGESAHAN

**FABRIKASI ALUMINIUM FOAM DENGAN METODE MELT ROUTE
MENGUNAKAN NaCl KRISTAL UKURAN BUTIR U.S MESH 4-16**

Dipersiapkan dan Disusun Oleh :

**Ilham Firmansyah
20110130005**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada Tanggal 21 Desember 2015

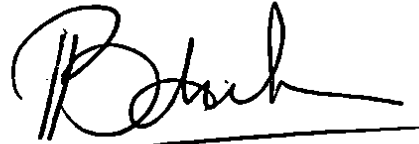
Susunan Tim Penguji :

Dosen Pembimbing I



Ir. Aris Widyo Nugroho.,M.T.,Ph.D
NIK. 19700301 199509 123 022

Dosen Pembimbing II



Muhammad Budi Nur Rahman, S.T.,M.Eng
NIP. 19790523 200501 1001

Dosen Penguji

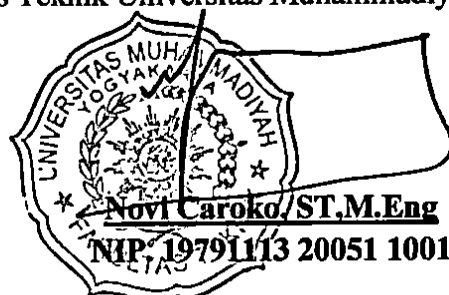


Drs. Sudarisman, M.S.Mechs.,Ph.D
NIP. 19590502 198702 1 001

Tugas Akhir ini telah diterima
sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Tanggal 26 Desember 2015

Mengesahkan,

Ketua Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 16 Desember 2015

Ilham Firmansyah

PERSEMBAHAN

TUGAS AKHIR INI KU PERSEMBAHKAN KEPADA:

Kepada kedua orang tua yang sudah mendukung dan mendoakan usaha saya. Kedua kakak saya Lisa dan Nia serta semua saudara yang juga mendukung dan mendoakan saya. Kemudian kepada teman-teman sejurusan, teman-teman HMM 2011, teman-teman UKM KPM UMY, teman-teman MITI, teman-teman UNIRES 2011 yang sudah mendukung dan mendoakan kelancaran skripsi saya. Sekali lagi saya mengucapkan banyak-banyak terima kasih, semoga Allah membalas amal perbuatan baik kita semuanya ,amiiin!!!!!!!!!!!!

MOTTO

"Intelligence is not the measurement, but intelligence support all!"

**Kecerdasan bukanlah tolak ukur kesuksesan, tetapi dengan menjadi cerdas
kita bisa menggapai kesuksesan.**

**"Sesuatu yang belum dikerjakan, seringkali tampak mustahil; kita baru
yakin kalau kita telah berhasil melakukannya dengan baik."**

INTISARI

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbandingan fraksi massa NaCl Kristal dengan metode *melt route* terhadap sifat fisik dan mekanik *aluminium foam*.

Bahan yang digunakan aluminium 6061-T651 dan NaCl kristal ukuran butir 1-5 mm. Parameternya yaitu variasi fraksi massa NaCl 0%, 10%, 15% dan 20%. Proses pembuatan yaitu aluminium batang dipotong kemudian dilebur hingga 660°C kemudian ditingkatkan suhunya mencapai 850°C setelah itu NaCl dimasukan dan dilakukan *mixing*. Kemudian dimasukan ke cetakan untuk proses *foaming*. Setelah dingin cetakan dibongkar dan di *machining* Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian densitas, porositas, pengujian metalografi dan pengujian tekan.

Dari hasil penelitian pengaruh fraksi massa NaCl 0%, 10%, 15%, 20% nilai porositas sebesar 2,8%, 14,6 %, 24,4 %, 32,8%. Dari hasil tersebut semakin tinggi fraksi massa *foaming agent* maka nilai porositas semakin meningkat. Hasil pengujian tekan didapatkan tegangan luluh sebesar 257,7 MPa, 165,3 MPa, 251,4 MPa, 31,4 MPa. Sedangkan modulus elastisitas didapatkan 239,4 MPa, 84,4 MPa, 127,0 MPa, 29,4 MPa. Hasil tersebut menyimpulkan bahwa semakin tinggi fraksi massa *foaming agent* maka nilai modulus elastisitas dan nilai tegangan luluh semakin rendah. Walaupun terdapat kenaikan pada spesimen 15% namun secara keseluruhan cenderung mengalami penurunan.

Kata Kunci : *Aluminium Foam, Melt Route, NaCl Kristal*

ABSTRACT

This study was conducted to determine the effect of comparison with the mass fraction of NaCl crystals melt method route to the physical and mechanical properties of aluminum foam.

Materials used aluminum 6061-T651 and NaCl crystal grain size of 1-5 mm. Parameter is variation NaCl mass fraction of 0%, 10%, 15% and 20%. The process of making aluminum rod is cut then smelted to 660°C and then increased the temperature reaches 850°C after the NaCl entered and performed mixing. Then inserted into the mold for the foaming process. Once cool the mold was dismantled and machining tests done of testing the density, porosity, metallographic testing and testing press.

From the research the effect of NaCl mass fraction of 0%, 10%, 15%, 20% porosity value of 2.8%, 14.6 %, 24.4 %, 32.8%. From these results the higher the mass fraction of foaming agent, the porosity increases. Press the test results obtained the yield stress of 257.7 MPa, 165.3MPa, 251.4 MPa, 31.4 MPa. While the modulus of elasticity obtained 239.4 MPa, 85.4 MPa, 127.0 MPa, 29.4 MPa. The results concluded that the higher mass fraction foaming agent then elasistas modulus value and the lower value of the yield stress. Although there is an increase in the value of the specimen 15%, but the overall tendency to decrease.

Keywords: Aluminum Foam, Melt Route, NaCl crystals.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas Berkat Rahmat dan Karunia yang dilimpahkan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir Dengan Judul " Fabrikasi *Aluminium Foam* dengan Metode *Melt Route* Menggunakan NaCl Kristal Ukuran Butir *U.S Mesh 4-16"*.

Laporan Tugas Akhir ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi Jurusan Teknik Mesin di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, penulis menghaturkan ucapan terima-kasih kepada:

1. Bapak Novi Caroko, S.T, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Bapak Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Muhammad Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II.
4. Drs. Sudarisman, M.S.Mechs.,Ph.D selaku Dosen Penguji Tugas Akhir.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun.

Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat khususnya bagi kita civitas akademika dan umumnya bagi pembaca semua, Amin.
Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 19 Desember 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO.....	vi
INTISARI.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi dan Batasan Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Asumsi.....	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.1.2 Proses Produksi <i>aluminium foam</i>	6
2.1.2 Bahan <i>foaming agent</i> atau <i>blowing agent</i> yang digunakan.....	8
2.2 Dasar Teori	11

2.2.1 Definisi <i>Metal Foam</i>	11
2.2.2 Porositas <i>Metal Foam</i>	12
2.2.3 Proses Produksi <i>Metal Foam</i>	13
2.2.4 Klasifikasi <i>Metal Foam</i>	15
2.2.5 Pembuatan <i>Aluminium Foam</i>	16
2.2.6 Proses Pembuatan <i>Metal Foam</i> dengan <i>Liquid State</i> (Melt Route)....	17
2.2.6.1 <i>Foaming Melts</i> dengan Injeksi Gas (Cymat, Alcan).....	17
2.2.6.2 <i>Foaming Melts</i> dengan Zat Pengembang (Alporas).	19
2.2.6.3 <i>Solid-Gas Eutectic Solidification</i> (Gasars)	21
2.2.6.4 Teknik <i>Powder Compact Melting</i>	22
2.2.6.5 Infiltrasi pada pola yang dapat dibuang (Investment Casting).....	24
2.2.6.6 <i>Spray forming</i> (Osprey process)	27
2.2.7 <i>Solid State Processing of Cellular Metals</i>	28
2.2.8 Material	28
2.2.8.1 Aluminium.....	28
2.2.8.2 NaCl	29
2.2.9 Metode Karakteristik <i>Aluminium Foam</i>	31
2.2.9.1 Pengukuran Porositas.....	31
2.2.9.2 <i>Mechanical Testing</i>	31
2.2.9.3 Sifat mekanik.....	33
2.2.9.4 Sifat <i>Thermal</i>	33
2.2.9.5 <i>Energy Absorption</i>	34
2.2.10 Aplikasi dari <i>Aluminium Foam</i>	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1 Penentuan Parameter Eksperimen.....	41

3.2	Penyiapan Proses.....	43
3.2.1	Penyiapan alat.....	43
3.2.2	Penyiapan bahan	46
3.3	Penimbangan dan pencampuran bahan	48
3.4	Proses Pembuatan <i>Aluminium Foam</i>	48
3.5	Diagram Alir Penelitian.....	50
3.6	Tahapan proses secara keseluruhan.....	52
3.7	Karakterisasi Produk <i>Aluminium Foam</i>	52
3.7.1	Pengujian Densitas.....	52
3.7.2	Pengujian Metalografi.....	53
3.7.3	Pengujian Mekanik Kuat Tekan	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		57
4.1	Karakteristik Bahan.....	57
4.2	Persiapan dan Penentuan Parameter yang Digunakan	57
4.3	Hasil Proses <i>Melting Route Aluminium</i> dengan NaCl kristal	59
4.4	Hasil Proses <i>Machining Spesimen Aluminium Foam</i>	60
4.5	Hasil pengamatan struktur Makro dan Pembesaran Mikro 50x.....	61
4.6	Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pembesaran 200x	64
4.7	Densitas dan porositas <i>Aluminium foam</i>	65
4.8	Hasil Pengujian Tekan.....	67
4.8.1	Analisa Kelakuan Spesimen <i>Aluminium Foam</i> saat Penekanan.....	67
4.8.2	Kurva Pengujian Tekan.....	69
4.8.3	Perhitungan Modulus Elastisitas dan Tegangan Luluh.....	71
BAB V PENUTUP		74
5.1	Kesimpulan	74

5.2 Saran..... 74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Efek penambahan CaCO_3 pada densitas <i>foam</i>	8
Gambar 2.2 Klasifikasi jenis koloid berdasarkan fasa pembentuk	12
Gambar 2.3 Kisaran ukuran sel dan densitas relatif <i>dengan metode yang berbeda</i>	14
Gambar 2.4 <i>Open-Cell foam, Closed-Cell foam,</i>	15
Gambar 2.5 Mikrograf, busa sel tertutup dan busa sel terbuka.....	15
Gambar 2.6 Berbagai macam metode untuk membuat <i>metal foam</i>	17
Gambar 2.7 Leburan <i>foam</i> dengan Gas Injeksi, Ukuran bubuk penyetabil	18
Gambar 2.8 Topologi <i>metal foam</i> dengan proses injeksi gas/Cymat/Alcan/	18
Gambar 2.9 Proses <i>melt route</i> dengan zat pengembang/ <i>blowing agent</i>	19
Gambar 2.10 Nilai viskositas tergantung dari waktu pengadukan.....	20
Gambar 2.11 Topologi <i>metal foam</i> dengan proses <i>blowing agent</i> (Alporas)	20
Gambar 2.12 Pertumbuhan pori di gas,	21
Gambar 2.13 Topologi <i>metal foam</i> proses <i>Solid Gas Eutectic Solidification</i>	21
Gambar 2.14 Proses <i>Powder Compact Melting</i>	22
Gambar 2.15 Karakteristik perluasan aluminium+ TiH_2 secara kompaksi ketika <i>foaming</i> pada suhu 750°C	23
Gambar 2.16 Penampang <i>cross-sections foam</i> dengan teknik <i>powder compact</i> <i>melting</i> lebih mendominasi.....	23
Gambar 2.17 Rute proses <i>investment casting</i> dengan penggunaan pola garam; penampang melintang aluminium hasil proses.....	24
Gambar 2.18 Rute proses dengan penggabungan serbuk aluminium dengan serbuk garam, dilanjutkan dengan pelarutan, Penampang melintang hasil rute proses.....	25

Gambar 2.19 Rute proses dengan <i>template polymer</i> , <i>DuocellTM</i> , Penampang melintang <i>aluminium foam DuocellTM</i>	26
Gambar 2.20 Pembuatan <i>Metal Foam</i> dengan <i>Spray Forming</i>	27
Gambar 2.21 Struktur <i>solid state</i> NaCl.....	30
Gambar 2.22 Kurva tegangan-regangan <i>aluminium foam</i>	33
Gambar 2.23 Penyerapan energi dan perhitungan efisiensi	34
Gambar 2.24 Penyerapan energi dari <i>metal foam</i> dengan densitas yang berbeda	35
Gambar 2.25 <i>Comparison energy absorption by foam and by a dense solid</i>	35
Gambar 2.26 Perbandingan tiga variasi densitas berbeda $AlSi_2$ membentuk area yang sama dalam menyerap energi E_v	36
Gambar 2.27 Sifat dari <i>foam</i> yang digunakan dalam industri otomotif.....	37
Gambar 2.28 <i>Prototipe</i> mobil <i>Karmann</i> dengan bagian-bagian yang terbuat dari <i>aluminium foam</i> dan jenis tabrakan serta % biaya pengobatan akibat tabrakan.....	38
Gambar 2.29 Rencana Permintaan dan Penggunaan <i>Aluminium Foam</i>	39
Gambar 3.1 Tungku pembakaran; Kowi.....	43
Gambar 3.2 Blower	44
Gambar 3.3 Termokopel digital	44
Gambar 3.4 Timbangan digital untuk mengukur massa Al dan NaCl.	45
Gambar 3.5 Batang Pengaduk.....	45
Gambar 3.6 Mesin <i>hand drill</i> yang digunakan pada proses.....	46
Gambar 3.7 Cetakan yang digunakan.	46
Gambar 3.8 Aluminium 6061-T651, b) NaCl Kristal 4.760 mm - 1,190 mm, Arang.....	47
Gambar 3.9 Diagram alir proses <i>foaming</i>	48
Gambar 3.10 Rangkaian tahapan proses pembuatan <i>aluminium foam</i>	50
Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian	51

Gambar 3.12 Mikroskop merek <i>Olympus PME 3</i>	53
Gambar 3.13 Mesin <i>Universal Testing Machine</i> merek <i>Gotech GT-7001-LC</i>	55
Gambar 4.1 Pengecekan dan pengontrolan temperatur peleburan, Suhu mendekati titik lebur Aluminium; suhu penambahan NaCl dan pengadukan ..	58
Gambar 4.2 Proses pembongkaran cetakan spesimen D (20%).....	59
Gambar 4.3 <i>Bulk</i> hasil dari proses <i>melting route</i>	60
Gambar 4.4 Spesimen <i>Aluminium foam</i> setelah di- <i>machining</i>	61
Gambar 4.5 Spesimen A (0% NaCl) tampak atas (makro), Struktur mikro.	61
Gambar 4.6 Spesimen B (10% NaCl) tampak atas (makro), Struktur mikro.....	62
Gambar 4.7 Spesimen C (15% NaCl) tampak atas (makro), Struktur mikro.....	62
Gambar 4.8 Spesimen D (20% NaCl) tampak atas (makro), Struktur mikro.	63
Gambar 4.9 Struktur Mikro spesimen <i>Aluminium Foam</i> Pembesaran 200x.....	64
Gambar 4.10 Grafik hubungan nilai densitas terhadap fraksi massa.	65
Gambar 4.11 Grafik hubungan nilai porositas	66
Gambar 4.12 Penekanan spesimen dengan % reduksi yang bertahap	67
Gambar 4.13 Hubungan antara tegangan dan regangan pada tiap variabel	69
Gambar 4.14 Spesimen setelah dilakukan pengujian tekan	70
Gambar 4.15 Hubungan antara tegangan luluh terhadap fraksi massa	72
Gambar 4.16 Hubungan antara Modulus elastisitas terhadap fraksi Massa.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Densitas dan % Porositas <i>Aluminium Foam</i> yang diproduksi dengan metode <i>melt route</i> yang berbeda.	6
Tabel 2.2 Karakteristik dari metode <i>powder compaction</i>	7
Tabel 2.3 Nilai porositas dari berbagai macam proses pembuatan <i>metal foam</i>	13
Tabel 2.4 Klasifikasi rute pembuatan <i>Aluminium foam</i> , <i>direct</i> dan <i>indirect foaming</i>	16
Tabel 2.5 Karakteristik Logam Aluminium.....	29
Tabel 2.6 Karakteristik NaCl	30
Tabel 2.7 Karakteristik <i>Aluminium Foam</i>	32
Tabel 2.8 Kemungkinan aplikasi busa aluminium dalam pembangunan sarana transportasi.....	38
Tabel 3.1 Parameter proses pembuatan <i>aluminium foam</i>	41
Tabel 3.2 Komposisi kimia paduan aluminium 6061-T651 (%wt).....	47
Tabel 4.1 Fraksi Massa Aluminium dan NaCl Kristal.	58
Tabel 4.2 Perbandingan nilai fraksi NaCl terhadap nilai densitas dan porositas..	65
Tabel 4.3 Nilai tegangan luluh , modulus elastisitas dan porositas pada masing-masing spesimen.	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Grafik Hasil Pengujian Tekan dengan <i>UTM</i>	80
Lampiran 2. Perhitungan Densitas dan Porositas.....	85
Lampiran 3. Perhitungan Tegangan Luluh.....	86
Lampiran 4. Perhitungan Modulus Elastisitas.....	87