

PENGUJIAN FATIK PADA MATERIAL PADUAN ALUMINIUM AKIBAT PENGARUH TEMPERATUR *TEMPERING*

Berkat¹, Ikhwansyah Isranuri², Syahrul Abda³, Tugiman⁴, Farida Ariani⁵
^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
 E-mail : putralg@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh tempering terhadap kekuatan fatik limit pada paduan aluminium-magnesium yang ditempering, baik material yang tidak ditempering dan material yang ditempering. Bahan yang digunakan adalah aluminium, yang dilebur dan dituang pada suhu 650⁰C dengan cetakan logam, kemudian dibuat spesimen standart ASTM E.8 untuk pengujian tarik dan JIZ Z2201 No.14 A untuk pengujian fatik. Pengujian fatik dilakukan dengan menggunakan 4 variasi bahan, yaitu material tanpa tempering, tempering pada suhu 200⁰C, tempering pada suhu 300⁰C, tempering pada suhu 400⁰C. Pengujian fatik dilakukan dengan menggunakan 3 beban untuk setiap variasi suhu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan tempering mengakibatkan terjadinya perubahan sifat fisis paduan aluminium yang ditandai dengan bertambahnya porositas pada struktur mikro tetapi relatif tidak mengubah komposisi kimia. Tempering mengakibatkan penurunan terhadap putaran (N) fatik dan kenaikan tegangan yaitu putaran yang dihasilkan yaitu tanpa tempering menghasilkan 902342 putaran, tempering pada suhu 200⁰C menghasilkan 859120 putaran, tempering pada suhu 300⁰C menghasilkan 692146 putaran, tempering pada suhu 400⁰C menghasilkan 468901 putaran

Kata kunci : Aluminium, magnesium, fatik, Mikrostruktur

1. PENDAHULUAN

Aluminium adalah material yang banyak digunakan dalam kegiatan manusia. Pada kondisi operasi atau penggunaannya, aluminium diharapkan memiliki sifat mekanik tertentu seperti kekerasan dan sifat mekanik tersebut dapat diperbaiki dengan melakukan beberapa proses perlakuan yaitu perlakuan mekanik atau perlakuan panas. Perlakuan panas adalah salah satu bagian dari produksi. Perlakuan panas didefinisikan sebagai operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan logam dalam kondisi padat selama selang waktu penahanan tertentu, perlakuan panas ini dilakukan untuk memperoleh sifat mekanik seperti kekerasannya tertentu. Paduan dengan komposisi kimia yang sama, proses laku panas yang sama akan berbeda struktur mikronya jika kondisi awal dari logam berbeda. Proses laku panas yang merupakan bagian dari rangkaian proses produksi yang saling mempengaruhi sehingga dalam merancang perlakuan panas harus memperhatikan apa proses yang dialami sebelumnya dan apa yang akan dilakukan proses selanjutnya. Pada dasarnya dalam hal ini tempering digunakan untuk memperbaiki sifat dan karakteristik material paduan aluminium-magnesium terhadap kekuatan fatik. [1]

2. TINJAUAN PUSTAKA

Aluminium

Aluminium diambil dari bahasa Latin: *alumen, alum*. Orang-orang Yunani dan Romawi kuno menggunakan *alum* sebagai cairan penutup pori-pori dan bahan penajam proses pewarnaan. Aluminium ditemukan kira-kira sekitar 160 tahun yang lalu dan mulai diproduksi skala industri sekitar 90 tahun yang lalu.

Sifat-sifat penting lainnya yang dimiliki aluminium sehingga banyak digunakan sebagai material teknik, antara lain :

1. Berat jenisnya ringan (hanya 2,7 gr/cm³, sedangkan besi ± 8,1 gr/ cm³)
2. Tahan korosi

3. Penghantar listrik dan panas yang baik
4. Kekuatan aluminium yang berkisar 83-310 MPa dapat dilipatkan melalui pengerjaan dingin atau pengerjaan panas.
5. Aluminium memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah

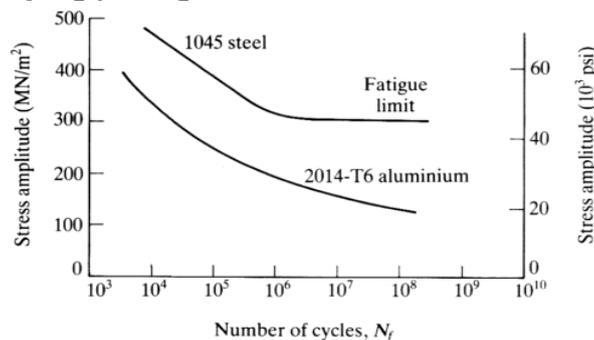
Magnesium

Magnesium merupakan salah satu jenis logam ringan dengan karakteristik sama dengan aluminium tetapi magnesium memiliki titik cair yang lebih rendah dari pada aluminium. Seperti pada aluminium, magnesium juga sangat mudah bersenyawa dengan udara (Oksigen).Perbedaannya dengan aluminium ialah dimana magnesium memiliki permukaan yang keropos yang disebabkan oleh serangan kelembaban udara karena oxid film yang terbentuk pada permukaan magnesium ini hanya mampu melindunginya dari udara yang kering.Unsur air dan garam pada kelembaban udara sangat mempengaruhi ketahanan lapisan oxid pada magnesium dalam melindunginya dari gangguan korosi.Untuk itu benda kerja yang menggunakan bahan magnesium ini diperlukan lapisan tambahan perlindungan seperti cat.

Fatig

Fatig atau kelelahan merupakan fenomena terjadinya kerusakan material karena pembebanan yang berulang-ulang, diketahui bahwa apabila pada suatu logam dikenai tegangan berulang maka logam tersebut akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik. Kerusakan akibat beban berulang ini disebut patah lelah (*fatigue failures*) karena umumnya perpatahan tersebut terjadi setelah periode pemakaian yang cukup lama. Mekanisme terjadinya kegagalan fatig dapat dibagi menjadi tiga fase yaitu: awal retak (*initiation crack*), perambatan retak (*crack propagation*), dan perpatahan akhir (*fracture failure*).

Penyajian data *fatigue* rekayasa adalah menggunakan kurva S-N yaitu pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan (N). Kurva S-N ini lebih diutamakan menggunakan skala semi log seperti ditunjukkan pada gambar 1 Untuk beberapa bahan teknis yang penting.



Gambar 1 Kurva S-N

Kurva tersebut didapat dari pemetaan tegangan terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan pada benda uji. Pada kurva ini siklus menggunakan skala logaritma. Batas ketahanan *fatigue* (*endurance limit*) baja ditentukan pada jumlah siklus $N > 10^7$ (Dieter,1992).

Persamaan umum kurva S-N dinyatakan oleh persamaan (*dowling*,1991).

$$S = B + C \ln(N_f)$$

Dengan :

B dan C adalah konstanta empiris material.

Pengujian *fatigue* dilakukan dengan cara memberikan *stress level* tertentu sehingga spesimen patah pada siklus tertentu.

Retak *fatigue* biasanya dimulai pada permukaan di mana lentur dan torsi menyebabkan terjadinya tegangan-tegangan yang tinggi atau di tempat-tempat yang tidak rata menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Oleh karena itu, batas ketahanan (*endurance limit*) sangat tergantung pada kualitas penyelesaian permukaan (Van Vlack,1983).

Tempering Pada Paduan Aluminium

Proses yang disebut sebagai perlakuan panas ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik material seperti tensile strength, resistance, elongation, impact resistance, dan hardness. Tidak seperti pada logam ferrous, paduan logam non ferous seperti aluminium hanya dapat dikeraskan secara signifikan melalui proses yang disebut sebagai precipitation hardening, yaitu proses tambahan yang bertujuan untuk menambah kekuatan material melalui penghalusan butir.

Pada proses ini, sifat mekanik paduan aluminium ditingkatkan dengan cara pembentukan lattice defect yang akan berlaku sebagai penghambat gerak dislokasi. Pada hasil proses precipitation hardening, defect tersebut berbentuk partikel-partikel halus yang terdistribusi merata, disebut sebagai presipitat.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain :

a. Aluminium

Peleburan ini menggunakan material aluminium yang dibentuk batangan (ingot). Aluminium yang didapat berdasarkan proses daur ulang oleh perusahaan industri aluminium.

Aluminium yang diberikan berupa batangan atau sering disebut Ingot, dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2 Aluminium

b. Magnesium

Magnesium salah satu dari beberapa unsur yang dapat dicampur dengan aluminium. Karena magnesium memiliki massa jenis lebih ringan daripada aluminium sehingga dapat meningkatkan efisiensi pada perpaduan kedua material. Magnesium memiliki titik cair yang lebih rendah sehingga pada saat melebur magnesium dimasukkan pada saat aluminium mencapai suhu 350°C untuk menghindari timbulnya percikan api yang dapat merusak paduan aluminium-magnesium. Magnesium yang digunakan pada pengujian ini dalam bentuk bram dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Magnesium

Alat Penelitian

Dalam proses penelitian ini banyak menggunakan alat-alat teknik, dimana alat-alat tersebut memiliki fungsi masing-masing dalam proses penelitian ini. Adapun alat-alat tersebut antara lain :

1. Mesin Gergaji
2. Dapur Lebur
3. Ladel
4. *Crucible*
5. *Blower*
6. Cetakan Spesimen
7. Mesin Uji *Heattreatment*
8. Mesin Bubut
9. Mesin Uji Tarik
10. Mesin Uji Fatik
11. Mesin Uji Struktur Mikro

Proses Pembuatan dan Pengujian

1. Pengecoran

Langkah-langkah proses pengecoran:

 - a. Sebelum cetakan di gunakan, cetakan harus dibersihkan dulu serta di semprotkan kapur cair ke dalam permukaannya agar bersih serta pada saat akan mengambil coran tidak lengket pada cetakan.
 - b. Peleburan aluminium.
 - c. Setelah aluminium mencair semua kemudian masukkan fluks. Fluks berguna untuk mengangkat kotoran pada saat proses pengecoran.
 - d. Setelah bersih, tahan pada suhu sekitar 650°C
 - e. Campurkan dengan Magnesium dengan cara ditaburkan, Aduk hingga merata.
 - f. Panaskan cetakan pada suhu 300°C agar pada saat penuangan coran tidak membeku sebelum memenuhi cetakan.
 - g. Masukkan logam coran ke dalam cetakan, usahakan cetakan jangan terlalu jauh letaknya dengan dapur pengecoran. [3]
2. Penemperan dilakukan setelah proses pengerasan. Temperatur temper yang digunakan dalam penemperan yaitu 250, 400, dan 550. Penemperan dilakukan dalam waktu 1, 2 dan 3 jam kemudian dilanjutkan dengan pendinginan di udara terbuka.[2]
3. Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material sebelum dilakukan pengujian fatik. Dengan demikian akan dapat diketahui kekuatan atau beban maksimum dari material yang selanjutnya dapat diketahui kekuatan atau beban luluhnya. Beban luluh inilah yang digunakan sebagai patokan

pembebanan pada pengujian fatik, dimana berkisar antara (20 – 80) % dari kekuatan luluh tersebut.

Langkah-langkah pengujian tarik adalah :

- a. Siapkan spesimen yang akan diuji, yaitu dengan mengampelas spesimen sampai dengan nomor ampelas 1500, tempatkan benda pada mesin *Servopulser* dan jepit kedua ujung batang secara tegak lurus.
 - b. Siapkan milimeter book pada ploter yang sudah tersedia dalam mesin uji.
 - c. Atur skala beban sesuai dengan yang kita kehendaki.
 - d. Penarikan dimulai dari beban nol dengan penambahan beban perlahan-lahan dan merata sehingga tidak terjadi beban kejutan.
 - e. Selama penarikan berlangsung, berarti terjadi perpanjangan dan pengecilan spesimen hingga putus.
 - f. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada kertas *milimeter book* yang telah dipasang di dalam *ploter* yang berupa grafik, serta penunjuk beban maksimal pada alat *Servopulser*.
4. Pengujian fatik ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan leleh dari material sebelum dan sesudah dilakukan Tempering. Dengan demikian dilakukan dua macam pengujian yaitu untuk material tanpa perlakuan tempering dan material dengan perlakuan tempering. Langkah-langkah pengujian fatik :
- a. Specimen yang sudah jadi dimasukkan kedalam chuck
 - b. Kemudian diujung spesimen dipasang batalan
 - c. Pada bantalan digantungkan beban sesuai dengan hasil perhitungan
 - d. Sebelum motor dihidupkan beban dipegang sehingga spesimen belum dibebankan
 - e. Motor dihidupkan, kemudian beban dilepaskan secara perlahan
 - f. Hidupkan stopwatch dan tunggu hingga 55specimen patah
5. foto struktur mikro dilakukan pada bagian penampang dari benda uji dengan perbesaran 100x dan 500x. Perbesaran ini dipilih untuk melihat struktur mikro dari material martensit pada Paduan Aluminium-Magnesium dengan jelas. Langkah – langkah pengambilan foto mikrostruktur :
- a. Menyiapkan benda uji dengan menghaluskan pada spesimen benda yang akan dilakukan pengujian.
 - b. Benda uji digosok dengan kertas amplas menggunakan mesin polish (gambar 3.11) diatas permukaan yang rata dan penggosokan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas tahan air yang dialiri air. Ukuran kertas amplas yang digunakan adalah kekasaran 400, 800, 1000, dan 1500 permukaan yang dihaluskan dengan amplas hanya satu permukaan saja.
 - c. Kemudian dibersihkan dan digosok menggunakan pasta poles (autosol) sampai mengkilap kemudian menyiapkan alat etsa yang diperlukan yaitu : tabung reaksi, gelas ukur dan pipet. Kemudian bahan yang dipergunakan yaitu: Alkohol 96 %, 24 ml air, 5 ml nital dan 0,5 hf.
 - d. Larutan bahan etsa tersebut dicampur dan diaduk, lalu teteskan ke benda uji selama ± 10 detik. Kemudian permukaan benda yang akan diuji dengan etsa dibersihkan dengan cairan alkohol dan cuci benda uji dengan air bersih kemudian keringkan.
 - e. Benda uji yang telah dietsa diletakkan diatas landasan (anvil) tegak lurus dengan lensa mikroskop dan diambil gambar dengan pembesaran yang dipakai 200 X.[4]

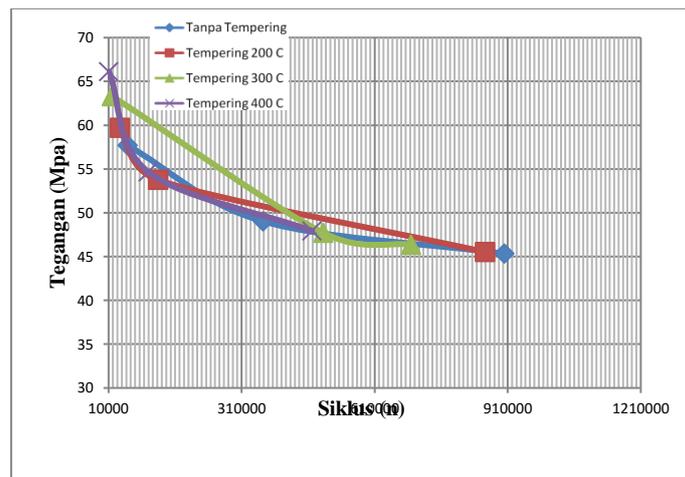
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fatik

Tabel 1 Hasil Pengujian Fatik

No	Specimen	Beban	Siklus	Tegangan
1	Tanpa tempering	5,97	902342	45,33
		7,62	358316	49,03
		11,94	53026	57,68
2	Tempering 200 °C	5,97	859120	45,52
		7,62	121741	53,74
		11,94	35359	59,70
3	Tempering 300 °C	5,97	692146	46,36
		7,62	494279	47,71
		11,94	17686	63,32
4	Tempering 400 °C	5,97	468901	47,93
		7,62	99819	54,66
		11,94	10659	66,11

Metode penyajian data hasil pengujian pada tabel 1 dengan menggunakan kurva SN. Kurva S-N hasil pengujian untuk material paduan aluminium tuang ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 4 Diagram S-N Paduan Aluminium-Magnesium

Dari gambar 9 dapat diketahui bahwa life of time pada paduan aluminium (96%) – magnesium (4%) yang tidak ditempering lebih tinggi daripada yang ditempering. Ini dibuktikan dari putaran yang dihasilkan yaitu putaran tanpa tempering menghasilkan 902342 putaran, tempering pada suhu 200°C menghasilkan 859120 putaran, tempering pada suhu 300°C menghasilkan 692146 putaran, tempering pada suhu 400°C menghasilkan 468901 putaran.[5]

Uji Tarik

Pengujian dengan menggunakan mesin servopulser pada skala beban 4 tondan menggunakan spesimen standar untuk pengujian tarik ASTM E8. Pengujian tarik ini bertujuan untuk mendapatkan data kekuatan tarik maksimal atau tegangan *Ultimate* yang akan digunakan untuk penentuan besarnya beban pada pengujian fatik.[5,6] Dari hasil pengujian tarik didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Pengujian Tarik

Benda	Pembebanan yang diberikan (ton)	Beban (%)	Beban (kg)	L ₀ (mm)	L ₁ (mm)	ΔL (mm)	d ₀ (mm)	d ₁ (mm)	Δd (mm)
1	4	43	1720	49,98	52,88	2,9	12,28	12,20	0,08
2	4	45,7	1828	49,97	53,12	3,15	12,27	12,18	0,09
3	4	41,9	1676	50	52,99	2,99	12,35	12,24	0,11

Spesimen	P _u (kg)	P _v (kg)	A ₀ (mm ²)	A ₁ (mm ²)	σ _v (Mpa)	σ _u (Mpa)	e (%)
1	1720	1495,65	118,37	116,8	123,774	142,39	5,8
2	1828	1056,64	118,18	116,45	87,61	151,50	6,3
3	1676	1297,5	119,73	117,6	106,13	137,2	5,98

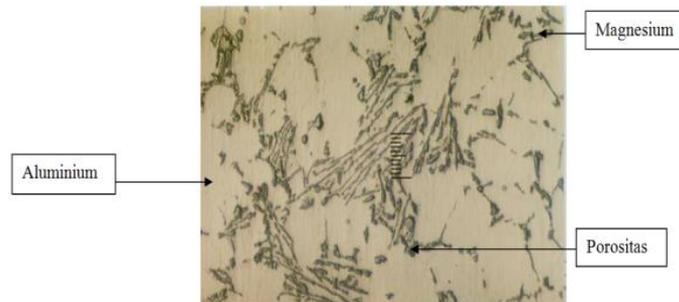
Dari tabel 2 dapat diperoleh tegangan maksimal (ultimate) rata-rata yang akan berguna untuk penentuan beban fatik adalah :

$$\sigma_u \text{ rata-rata} = \frac{\sigma_{u1} + \sigma_{u2} + \sigma_{u3}}{3}$$

$$= \left(\frac{14,51 + 15,44 + 13,98}{3} \right) \frac{kg}{mm^2}$$

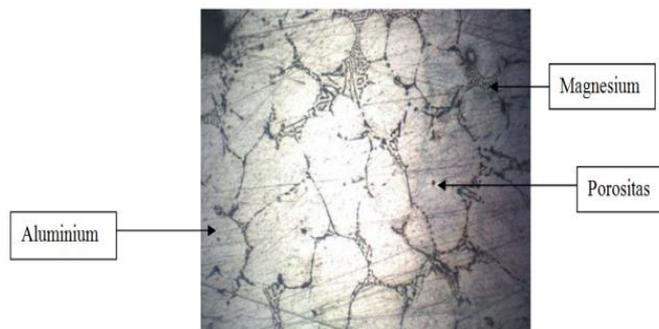
$$= 14,64 \frac{kg}{mm^2} = 143,65 \text{ Mpa}$$

Foto Mikrostruktur



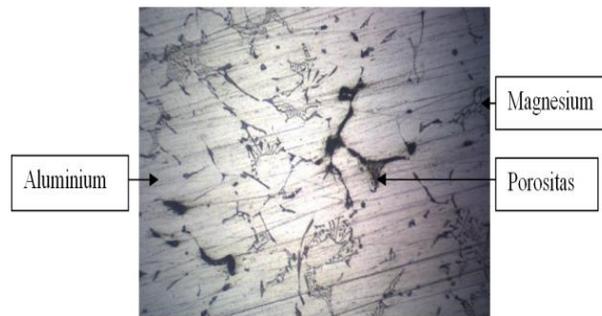
Gambar 5 Mikrostruktur paduan aluminium yang tidak distempering

Gambar 6 memperlihatkan hasil pengujian mikro struktur pada 200× pembesaran untuk paduan Aluminium-magnesium yang tidak ditempering. Hasil dari gambar 6 memperlihatkan bahwa Magnesium dalam bentuk serpihan-serpihan dan magnesium berwarna abu-abu.



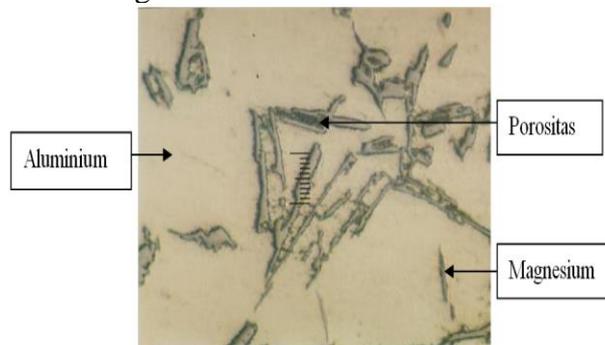
Gambar 6 Mikrostruktur paduan aluminium ditempering Suhu 200⁰C

Gambar 6 memperlihatkan hasil pengujian mikro struktur pada 200× pembesaran untuk paduan Aluminium-magnesium yang ditempering pada suhu 200⁰C, memperlihatkan bentuk coran Aluminium dengan menggunakan cetakan logam. Secara visual pada spesimen uji dapat dilihat langsung dan dari gambar diatas dapat dilihat beberapa cacat pada coran berupa porositas dimana hal ini tentunya akan mengakibatkan penurunan pada sifat mekanis karena dapat menjadi sumber/awal terjadinya *crack*.



Gambar 7 Mikrostruktur paduan alumnium ditempering Suhu 300⁰C

Gambar 7 memperlihatkan struktur mikro paduan Aluminium-magnesium yang ditempering pada suhu 300⁰C memperlihatkan bahwa Magnesium dalam bentuk serpihan-serpihan. Magnesium yang memiliki titik cair lebih rendah dari Aluminium akan lebih sulit untuk membentuk fasa kedua α . Porositas pada struktur mikro Aluminium setelah dilakukan penambahan suhu akan menambah luas daerah cacat porositas. Dari gambar dapat dilihat Aluminium berwarna ke abu-abuan, sedangkan partikel Magnesium berupa garis-garis yang berwarna hitam telah berhasil menyatu dalam paduan Aluminium-Magnesium.



Gambar 8 Mikrostruktur paduan alumnium ditempering Suhu 400⁰C

Pada gambar 8 memperlihatkan hasil pengujian mikro struktur pada 500× pembesaran untuk paduan Aluminium-magnesium yang ditempering pada suhu 400⁰C memperlihatkan paduan tersebut berpadu secara merata dan disimpulkan struktur mikro aluminium setelah dilakukan penambahan suhu hasilnya adalah meningkatnya porositas. Peningkatan temperature tuang pada specimen akan meningkatkan luas daerah porositas.

5. KESIMPULAN

Dari hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pada material paduan aluminium-magnesium dengan perbandingan 96% aluminium dan 4% magnesium Setelah dilakukan foto mikro ternyata paduan aluminium yang telah di *tempering* mempunyai porositas yang lebih besar dibandingkan dengan yang *tidak ditempering*, sedangkan untuk unsur-unsur paduannya tidak begitu banyak mengalami perubahan yang signifikan..
- b. Dari pengujian terlihat bahwa spesimen uji mempunyai porositas yang cukup menyebar, dimana proses tempering itu memperbesar porositas spesimen sehingga menurunkan kekuatan Tarik.
- c. Kekuatan fatik pada paduan aluminium yang telah mengalami proses tempering mengalami penurunan siklus (N) sebesar 19,8 %. Jadi proses *remelting* dapat merubah kekuatan fatik menjadi menurun. Hal ini dikarenakan oleh adanya cacat pada waktu pengecoran yaitu terjadinya porositas ataupun penyusutan pada saat logam yang sedang ber-transformasi dari fasa cair ke padat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Handbook. 1988. *Metals Handbook Ninth Edition Volume 15 Casting*. TheUniversity of Alabama.
- [2] Purnomo, 2004. "Pengaruh pengecoran ulang terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan impak pada paduan Aluminium tuang 320", Proceedings, Komputer dan system intelijen, Universitas Gunadarma, Jakarta.
- [3] Surdia, Tata. & Chijiiwa Kenji. 1991. "*Teknik Pengecoran Logam*". Jakarta:PradnyaParamita.
- [4] B. H. Amstead, Teknologi Mekanik, Terjemahan Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta, 1987.
- [5] E. P Propov, Mekanika Teknik, Terjemahan Zainul Astamar Msc, Erlangga, Jakarta, 1984.
- [6] Ferdinand L. Singer, Andrew Pytel, Kekuatan Bahan, Terjemahan Ir. Darwin Sebayang, Erlangga, Jakarta, 1980.