Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.2 dengan Penambahan Manganese (Mn) dan Perlakuan Panas T6

Arino Anzip dan Suhariyanto
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
Email: d3mits@rad.net.id

ABSTRAK

Paduan Aluminium A356.2 merupakan salah satu paduan aluminium yang cocok dipakai untuk material *velg-racing* mobil. Karena paduan ini mempunyai beberapa kelebihan seperti; ringan, tahan korosi dan warnanya menarik, tetapi sifat mekaniknya belum memenuhi standar JIS H 5202. Oleh karena itu maka sifat mekaniknya perlu ditingkatkan. Sifat mekanik paduan dapat ditingkatkan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan mengubah komposisi kimia dan perlakuan panas. Pada penelitian ini dilakukan penambahan unsur Mn ke dalam paduan A356.2 sehingga kandungan Mn yang semula 0.05 %w dinaikkan menjadi; 0.2, 0.4; 0.6; 0.8; 1.0; 1.2; 1.4 dan 1.6 %w. Setelah itu diberi perlakuan panas T6, kemudian dilakukan uji kekuatan tarik, kekerasan, impak dan pengamatan struktur mikro. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat mekanik paduan, naik akibat adanya penambahan Mn dan perlakuan panas T6. Sifat mekanik optimum diperoleh ketika kandungan Mn sebesar 1,2 %w. Pada kondisi ini mempunyai nilai *Ultimate Tensile Stength* 31.58 kg/mm^2, *elongation* 7.54 %, kekerasan 90.74 HVN dan kekuatan impak 5.88 J/cm^2, dan telah memenuhi standar JIS H 5202.

Kata kunci: Paduan Aluminium, *ultimate tensile strength,* kekerasan, kekuatan impak

ABSTRACT

Aluminum Alloy A356.2 is one of aluminum alloys that is suitable to be used as a car wheel - rim material. This is because it has some benefits such as lightweight material, corrosion resistance material, interesting color but its mechanical properties do not meet criteria of JIS H 5202. For that reason, to meet the standard its mechanical properties need to be improved. Mechanical properties of this alloy can be improved using many ways; one of these is by changing its chemical composition. In this research, Mn element is added to alloy A356.2 containing Mn 0.05 %w originally. Mn addition to the alloy is commenced from the amount of 0.2 %w, 0.4; 0.6; 0.8; 1.0; 1.2; 1.4 and finally 1.6 %w. After this, some tests are conducted to these new alloys including tensile test, hardness test, impact test and micro – structural test. Test results show that the change of material mechanical properties occurs due to Mn addition and heat treatment T6 to these alloys. The optimum mechanical properties are obtained with the addition of 1.2 %w Mn to the alloy. In this condition, the alloy has Ultimate Tensile Stength of 31.58 kg/mm^2, elongation of 7.54 %, hardness test of 90.74 HVN and impact test of 5.88 J/cm^2 and these results fulfill JIS H 5202 standard.

Keywords*: Aluminum alloy (356.2), ultimate tensile strength, hardness, impact strength*

PENDAHULUAN

Sebagai bahan *Velg Racing* untuk mobil 3000 cc, sifat mekanik yang dibutuhkan sesuai dengan Standar JIS H 5202 adalah; *Ultimate Tensile Strenght* (*UTS)* minimal sebesar 25 kg/mm^2 atau 245,25 Mpa, *Elongation* minimal 5%, *Hardness* 75 s/d 95 Hv, dan *impact strenght* (IS) 5,5 J/cm^2. Padahal paduan aluminium A356.2 hanya mempunyai kekuatan tarik 160 Mpa , *Hardness* 71 Hv, sehingga perlu adanya penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik paduan tersebut. Disamping itu juga bertujuan untuk mengkaji sejauh mana pengaruh unsur Mn terhadap sifat mekanik paduan, dan mencari berapa persen berat (%w) Mn yang optium dalam paduan A356.2.

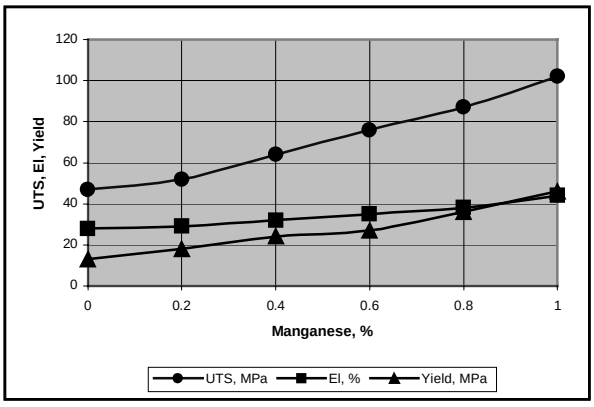
Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat mekanik suatu paduan adalah: komposisi kimia, perlakuan panas *(heat treatment),* proses pengecoran dan proses pengerjaan. Jadi dengan mengubah komposisi kimia sampai batas tertentu, dan memberi perlakuan panas, maka sifat mekanik paduan akan menjadi lebih baik sesuai dengan yang diinginkan.

Pada penelitian ini dilakukan penambahan Mn kedalam paduan Aluminium A356.2 sebesar 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,20; 1,4 dan 1,6 %w. Selanjutnya diberi perlakuan panas T6 dengan temperatur *head*

solution 154°C. Dipilihnya Mn sebagai elemen paduan, karena Mn dapat meningkatkan kekuatan tarik, *elongation* dan kekerasan. Sedangkan perlakuan panas T6 dapat merubah struktur mikro dari bentuk lonjong menjadi bulat atau mendekati bulat. Dengan bentuk yang lebih bulat maka kuat tarik dan kekerasan akan semakin tinggi.

Penambahan Manganese

Sebuah paduan Aluminium Al-Si-Mg yang paduan dasarnya (base alloy) mempunyai komposisi persen berat; Si = 6,18%; Fe = 0,5%; Mg = 0,08%; Cu = 1,22%, dan Zn = 1,28% diberi tambahan elemen paduan Mn. Kemudian diuji sifat mekaniknya (kekuatan tarik, *elongation* dan *yield*), hasilnya dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Mn berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik, *elongation* dan *yield*. Mula-mula base alloy mempunya UTS 48 MPa, Elongation 27% dan yield 18 Mpa. Setelah kandungan Mn dinaikkan menjadi 1% w, maka sifat mekaniknya meningkat menjadi memiliki UTS 102 MPa, *Elongation* 41% dan *yield* 42 MPa.



Gambar 1. Pengaruh Kandungan Mn terhadap UTS, Elongation dan Yield pada Paduan Aluminium [1]

Perlakuan Panas

Perlakuan panas dapat didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan, dalam keadaan padat dengan waktu tertentu dan dengan maksud untuk mendapatkan sifat tertentu.

Paduan aluminium dapat ditingkatkan kekerasannya dengan cara diberi perlakuan panas. Sebagai contoh paduan aluminium Al-Si-Mg diberi perlakuan panas T5 (waktu tahan 4 jam dengan suhu yan bervariasi, yaitu 25; 125; 180; 200 dan 220 °C)[1]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa, kekerasan semula adalah 92 BHN. Dengan suhu pemanasan 180 °C, kekerasannya menjadi 117 BHN, dan dengan suhu pemanasan 200°C kekerasannya menjadi 226 BHN.

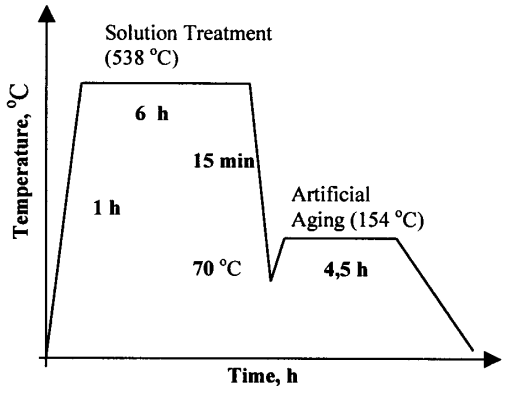
Paduan aluminium A356.0 mempunyai kandungan Ti sebesar 0,13% w. Ketika kandungan Ti tersebut dinaikkan menjadi; 0,15; 0,17 dan 0,19 persen, dan diberi perlakuan panas T6. menunjukkan bahwa paduan tersebut mengalami peningkatan kekuatan tarik dan kekerasan yang signifikan [2]. Tetapi elogation dan IS nya menurun. Secara detail hasil uji sifat mekanik tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji sifat mekanik pengaruh kandungan Ti dan perlakuan panas T6 terhadap sifat mekanik Aluminium A.356.0 [2].

No	Ti	UTS (kg/mm²)		ε (%)		HVN		IS (J/cm²)	
	(%w)	Cast	T6	Cast	T6	Cast	T6	cast	T6
1	0,13	16,36	26,24	10,23	8,92	54,25	81,22	6,34	6,14
2	0,15	20,18	30,58	9,43	8,144	62,32	87,74	6,24	6,02
3	0,17	22,47	32,49	8,37	7,35	70,52	91,27	6,12	59,4
4	0,19	23,24	34,33	8,21	7,02	74,28	93,18	5,97	58,8
5	0,21	22,56	33,41	7,89	6,97	73,96	93,42	5,94	58,2

Kekerasan juga dapat ditingkatkan dengan perlakuan panas T6. Sebagai contoh, paduan Al-Si-Mg dengan nomor seri AC9B untuk bahan piston, kekerasannya meningkat karena perlakuan panas T6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi yang dapat dicapai adalah sebesar 75 HRB, yaitu ketika diberi perlakuan panas dengan temperatur tahan 200°C dan dengan waktu tahan 4 jam [3].

Hasil cor (as-cast) Aluminium mudah mengalami perubahan dimensi, menurunnya kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi. Untuk mengatasi hal tersebut serta untuk meningkatkan kekuatan dan keuletan, hasil cor diproses termal dengan satu pemanasan atau lebih yang diikuti pendinginan. Dalam penelitian ini proses termal yang dilakukan adalah T6 dengan temperatur *heat solution* 538°C dengan waktu tahan selama 6 jam, kemudian dilanjutkan dengan *quenching* sampai 75°C dan dipanaskan lagi ke temperature 154°C dan ditahan selama 4,5 jam, kemudian didinginkan secara lambat dengan udara.



Gambar 2. Skema Proses Perlakuan Panas T6-Standar

Proses perlakuan panas T6 terhadap paduan Aluminium dilakukan melalui metode pengerasan dengan terbentuk endapan (*Precipitation hardening*) yang secara garis besar terdiri dari tiga langkah. Langkah pertama, perlakuan panas pelarutan (*solution heat treatment)*, langkah kedua, pendinginan cepat (*quenching)* untuk mendapatkan larutan lewat jenuh *(supersaturated*) dan langkah ketiga: Proses penuaan buatan (*artifical aging*).

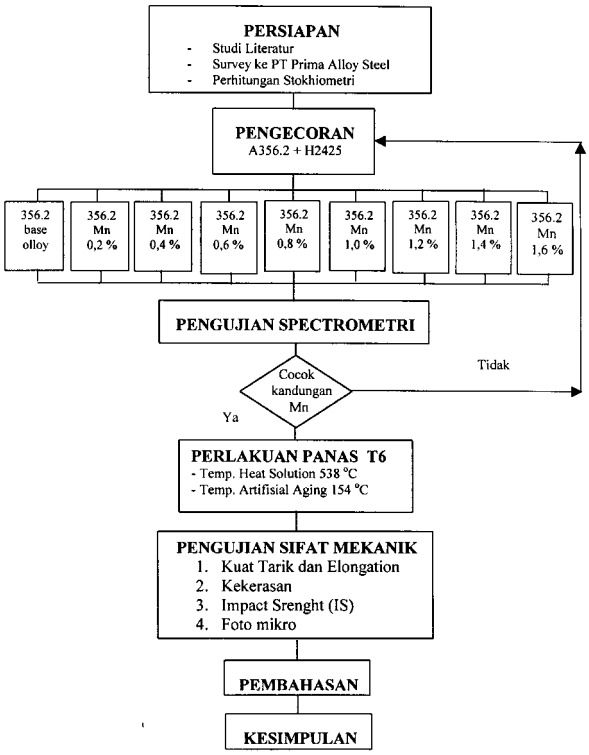
METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini ada dua macam yaitu; paduan dasar atau *base alloy* A356.2 dan elemen paduan Cuper (Cu) dalam bentuk *master alloy* dengan nomor kode dari Association Aluminium H2132. Masing-masing mempunyai komposisi kimia sebagai berikut [4]:

1. *Base alloy* paduan Aluminium A356.2
   Al = 92,31%; Si = 7,0%; Fe = 0,12%; Cu = 0,10%; Mn = 0,05%; Mg = 0,21%; Zn = 0,05%; Ti = 0,20%.
2. *Master alloy* H2425.
   Mn = 25%; Si = 0,2%; Fe = 0,25; Al = 74,30%; other 0,15%.

Kedua paduan dicor menjadi satu dengan perbandingan massa tertentu untuk mendapatkan paduan baru dengan kandungan Mn tertentu. Mula-mula untuk mendapatkan kandungan Mn sebesar 0,01 %w, kemudian dinaikkan menjadi; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,20; 1,4 dan 1,6% w. Hal ini berdasarkan pada batas kelarutan *(solid solubility)* maksimum Mn dalam paduan A356.2 sebesar 1,82% w [5]. Selanjutnya dilakukan perlakuan panas T6 dan pengujian sifat mekanik. Hasil peningkatan sifat mekaniknya sebelum ditambah dengan Mn, setelah ditambah dengan Mn dan setelah diberi perlakuan panas dapat dilihat pada Tabel 2. Pengujian sifat mekanik terdiri dari uji UTS dan *elongation* yang dilakukan dengan standar JIS Z 2241, uji kekerasan dengan standar JIS Z 2244 dan uji impak dengan JIS Z 2242 [6]. Yang terakhir adalah pengamatan metalografi. Beberapa contoh velg racing mobil yang diproduksi oleh PT Prima Alloy Steel ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Velg Racing Mobil



Gambar 4. Skema metodologi penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sifat mekanik akibat pengaruh kandungan Mn dan perlakuan panas T6 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Pengaruh Kandungan Mn dan T6 terhadap Sifat Mekanik

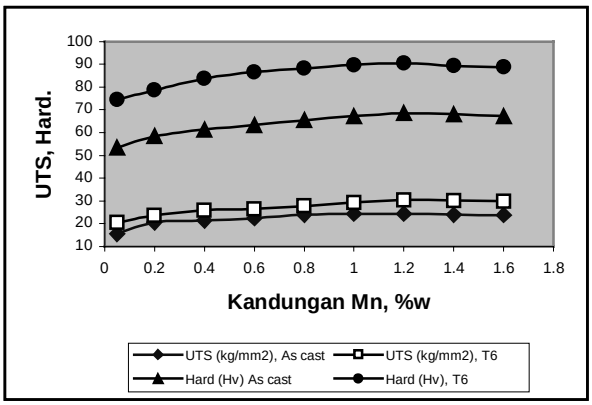
No	Mn	UTS (kg/mm²)		ε (%)		HVN		IS (J/cm²)	
	(%w)	Cast	T6	Cast	T6	Cast	T6	Cast	T6
1	0,05	16,24	25,14	10,18	8,72	54,26	80,27	6,35	6,07
2	0,2	18,34	27,56	9,53	8,34	58,32	83,74	6,24	6,02
3	0,4	20,12	29,46	9,36	8,12	62,33	86,46	6,21	5,97
4	0,6	21,68	30,58	9,53	8,04	66,32	88,74	6,22	5,95
5	0,8	22,25	32,38	8,33	7,98	70,44	89,24	6,23	5,94
6	1,0	22,28	33,58	8,27	8,14	74,32	93,74	6,28	5,92
7	1,2	22,23	32,83	8,21	7,12	73,26	92,16	5,96	5,88
8	1,4	22,18	31,58	8,43	7,54	71,32	90,74	5,24	5,86
9	1,6	21,85	31,45	8,78	7,67	70,63	90,46	5,12	5,82

Hasil Uji Kekuatan Tarik dan Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian terlihat adanya kenaikan UTS dan kekerasan sebelum dan sesudah ditambah Mn. Sebelum ditambah Mn (base alloy), nilai: UTS nya adalah 16,24 kg/mm2 dan nilai kekerasannya 54,26 HVN. Setelah kandungan Mn-nya dinaikan menjadi 1,0% w maka nilai UTS dan kekerasannya naik menjadi 22,28 kg/mm² dan 74,32 HVN. Namun masih belum memenuhi standar JIS H5202.

Setelah diberi perlakuan panas T6 terjadi kenaikan UTS dan kekerasan yang signifikan. Nilai UTS naik menjadi 33,58 kg/mm2 dan nilai kekerasannya menjadi 93,74 HVN. sehingga bisa memenuhi standar JIS H 5202..

Kandungan Mn sampai dengan 1,2% w dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan. Namun bila kandungan Mn lebih dari 1,2% w maka akan menurunkan kekuatan tarik dan kekerasannya, baik pada kondisi as-cast maupun kondisi perlakuan panas T6. UTS dan kekerasan maksium terjadi ketika kandungan Mn 1,0% w.



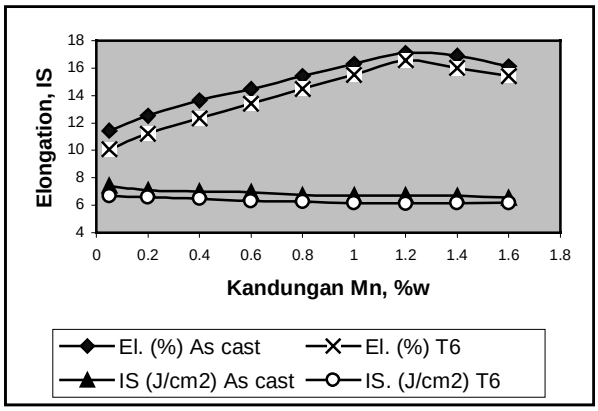
Gambar 5. Pengaruh Kandungan Mn dan Perlakuan Panas T6 terhadap UTS dan Kekerasan

Dalam paduan A356.2 unsur Mn membentuk senyawa $MnAl_6$ yang menyebar merata baik di batas butir maupun di matriknya (α-Al). Penyebaran Mn dapat dilihat pada Gambar 7. Meningkatnya kekuatan tarik dan kekerasan tersebut disebabkan karena senyawa $MnAl_6$ memasuki tempat diantara atom-atom Aluminium *(lattice kristal,)* sehingga susunan atom akan menjadi lebih rapat dan menimbulkan ikatan yang semakin kuat. Gaya yang diperlukan untuk menimbulkan dislokasi semakin besar, yang berarti kekuatan tarik dan kekerasan semakin besar.

Kandungan Mn dalam paduan Aluminium A356.2 mempunyai harga maksimum. Bila kandungan Mn melebihi 1,2% w, walaupun belum melebihi batas kelarutannya, tetapi senyawa $MnAl_6$ yang terbentuk akan memperlemah ikatan antar atom. Sehingga gaya yang diperlukan untuk mendeformasi/merusak akan semakin kecil, yang berarti menurunkan UTS dan kekerasan.

Hasil pengujian *Elongation* dan *Impact Strength*

Semakin besar kandungan Mn sampai 1,2% w, maka e*longation* akan naik sedangkan *Impact Strength* (IS) semakin turun. Bila kandungan Mn ditingkatkan lagi hingga lebih besar 1,2% w maka *elongation* akan turun, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh Kandungan Mn dan Perlakuan Panas T6 terhadap Sifat Mekanik

Senyawa $MnAl_6$ yang tersebar merata sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 7, akan menambah kemampuan ikatan antar atom secara menyeluruh, sehingga kemampuan untuk mulur terlebih dahulu ketika material ditarik juga meningkat, yang berarti *elongation* meningkat. Tetapi bila gaya yang terjadi secara mendadak (bukan ditarik secara pelan-pelan) maka material akan segera patah, yang secara fisik ditandai dengan turunnya IS.

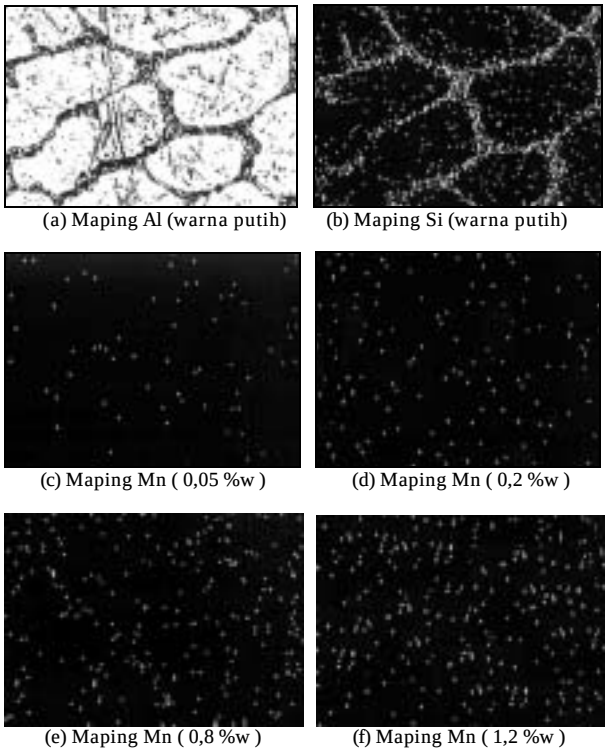
Hasil Pengujian Struktur Mikro

SEM-EDAX digunakan untuk melihat penyebaran (maping) unsur Mn dalam paduan Lauminium A356.2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa unsur Mn sebagai elemen paduan tersebar merata, baik di dalam matrik (α-Al) maupun di batas butir. Sedang unsur Si banyak berada di batas butir. Penyebaran Mn pada paduan Aluminium A356.2 ditunjukkan pada Gambar 7c s/d 7f, dimana terlihat bahwa semakin besar kandungan Mn maka bintik-bintik putih akan semakin besar dan menyebar merata. Dengan adanya Mn yang membentuk senyawa $MnAl_6$ yang tersebar merata maka akan menghambat terjadinya *dislokasi* bila ada gaya dari luar, atau dengan kata lain gaya yang diperlukan untuk mendeformasi/merusak akan semakin besar, yang berarti kekuatan tarik, kekerasan dan *elongation* akan semakin besar.

Kekuatan tarik dan kekerasan, pada kondisi perlakuan panas T6 selalu lebih besar dari pada kondisi *as-cast.* Hal ini disebabkan karena jumlah senyawa $MnAl_6$ yang terlarut dalam paduan Aluminium A356.2 akan semakin besar karena kemampuan untuk mengandung senyawa $MnAl_6$ meningkat setelah diberi perlakuan panas. Namun bila Mn terlalu tinggi (melebihi 1,2% w) maka keberadaan senyawa $MnAl_6$ justru akan memeperlemah ikatan antar atom. Hal ini ditunjukkan dengan menurunnya kekuatan tarik dan kekerasan. Disamping itu juga disebabkan karena, dengan adanya perlakuan panas T6 maka bentuk butiran berubah dari bentuk

lonjong menjadi bentuk bulat atau mendekati bulat (Gambar 8). Bentuk butiran yang bulat menyebabkan gaya yang diperlukan untuk mendeformasi akan semakin besar dibandingkan dengan bentuk butiran yang lonjong.

Berikut ini adalah hasil pengamatan struktur mikro dengan SEM-EDAX untuk memunjukkan penyebaran unsur Al, Si dan Mn.

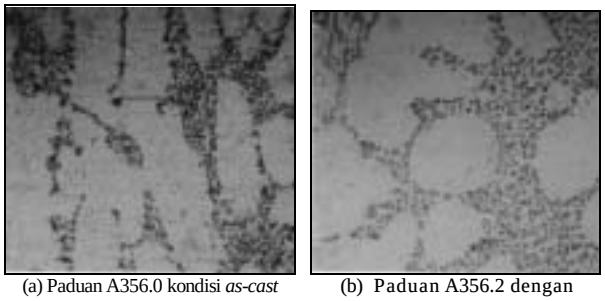


(a) Maping Al (warna putih) (b) Maping Si (warna putih)

(c) Maping Mn (0,05 %w) (d) Maping Mn (0,2 %w)

(e) Maping Mn (0,8 %w) (f) Maping Mn (1,2 %w)

Gambar 7. Penyebaran unsur Al, Si dan Mn pada paduan A356.2 (1000x)



(a) Paduan A356.0 kondisi *as-cast* (b) Paduan A356.2 dengan perlakuan panas T6

Gambar 8. Perbandingan Bentuk Butiran Sebelum dan Sesudah Perlakuan Panas T6, dengan Pembesaran 500 X.

KESIMPLAN

1. Semakin besar kandungan Mn sampai dengan 1,2% w, maka kekuatan tarik, *elongation* kekerasan akan semakin naik, sedang IS semakin turun.
2. Elemen paduan Mn tersebar merata dalam paduan A356.2, baik pada matrik (α-Al) maupun pada batas butirnya. Sedangkan perlakuan panas T6 mengubah bentuk butiran yang lonjong menjadi bulat.
3. Sifat mekanik pada kondisi *as-cast* belum ada yang bisa memenuhi standar JIS H5202, tetapi setelah diberi perlakuan panas T6, bisa terpenuhi.
4. Kandungan Mn sebesar 1,0% w, menghasilkan sifat mekanik yang paling baik dengan nilai UTS 33,58 kg/mm^2 , *Elongation* 8,14% , Kekerasan 93,74 Hv dan IS 5,92 J/cm^2

DAFTAR PUSTAKA

1. A.M.Samuel, F.H. Samuel, Effect of Magnesiun Content on the Ageing Behaviour of Water-chilled Al-Si-Mg Alloy Casting. *Journal of Mat. Sci*, vol 30. (2531-2540) 1996.
2. Suhariyanto, Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A 356.0 dengan penambahan TiC dan Perlakuan Panas T6, *SAINTEK Jurnal Ilmiah Teknik dan Rekyasa*, Vol.8, No.2 ISSN 1411-5662, 2004.
3. Elvis S, *Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Sifat Mmekanik dan Struktur Mikro pana Paduan Al-Si-Mg untuk Piston Motor*, PPS Materials UI, Jakarta. 1997.
4. Zalensas D L, *Aluminium Casting Technology*, 2nd edition, American Foundrymen's, Inc., Illinois. 1998.
5. John E.Hatch, *Aluminium Properties and Physical Metallurgy. American Sociaty for Metals*, Ohio. 1995.
6. *JIS Handbook Non-Ferrous Metals and Metallurgy*, JSA (Ed.). JSA Publications, 1994.