

PENGARUH PENAMBAHAN TiB TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA PADUAN ALUMINIUM DENGAN CETAKAN LOGAM

Helmy Purwanto; S.M. Bondan Respati

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang
Jl Menoreh Tengah X/22 Sampangan Semarang 50236
Telp. +6224 8505680, e-mail: bondanrespati@yahoo.com, helmy_uwh@yahoo.co.id

ABSTRACT

Grain Refining merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat mekanik paduan Al-Si, yaitu proses untuk menghaluskan ukuran dan bentuk butir logam menjadi lebih kecil dan homogen dengan melakukan perlakuan terhadap cairan logam pada saat proses pengecoran.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan grain refiner Ti terhadap struktur mikro dan kekerasan pada Aluminium daur ulang dengan menggunakan cetakan logam. Bahan baku yang digunakan adalah aluminium daur ulang dengan komposisi kimia Al-6%Si-2%Fe. Sebagai grain refiner digunakan master alloy Al-5%Ti-1%B dengan variasi penambahan Ti sebesar 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1%; 2% dan 3% sedangkan temperatur tuang 700°C dan temperatur cetakan 300°C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Ti 0,25% - 3% relatif memperhalus butir. Peningkatan jumlah butir yang paling signifikan terjadi pada penambahan Ti 0,25% dengan ukuran butir menjadi lebih kecil yaitu 7,40 µm atau mengalami peningkatan 71%. Sedangkan hasil uji kekerasan Brinell menunjukkan bahwa penambahan Ti tidak terlalu signifikan meningkatkan kekerasan, kekerasan tertinggi hanya sebesar 66 BHN atau meningkat 9,81 % yaitu pada penambahan Ti 0.75%.

Kata kunci : Aluminium daur ulang, Grain refiner, Struktur mikro, kekerasan Brinell

1. Pendahuluan

Aluminium merupakan logam yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, meliputi peralatan rumah tangga, konstruksi, komponen otomotif dan pesawat terbang (*aerospace*). Aluminium disamping mempunyai massa jenis kecil, tahan terhadap korosi, daya hantar listrik yang baik, jika dipadu dengan unsur dan diproses dengan metode tertentu akan mempunyai sifat fisis dan mekanis yang unggul [1] [2].

Produk-produk aluminium dihasilkan melalui proses pengecoran (*casting*) dan pembentukan (*forming*). Produk aluminium yang di hasilkan dari proses pengecoran banyak dijumpai pada peralatan rumah tangga dan komponen otomotif, misalnya velg (*cast wheel*), piston, blok mesin dan lain sebagainya. Sedangkan produk aluminium hasil pembentukan yang diperoleh melalui proses tempa, rol dan ekstruksi misalnya aluminium profil dan plat yang banyak digunakan dalam konstruksi.

Silikon (Si) merupakan salah satu unsur yang jika dipadu dengan aluminium mampu meningkatkan sifat mekanis, mampu cor (*castability*) dan mampu mesin [3]. Al-Si banyak digunakan dalam komponen otomotif melalui proses pengecoran.

Dalam industri pengecoran aluminium lokal,

disamping menggunakan proses pengecoran tuang (*gravity casting*) material yang digunakan adalah Al-Si daur ulang dan dalam proses peleburan banyak menggunakan peralatan dari besi (mengandung unsur Fe) sehingga dalam proses unsur Fe akan bertambah pada paduan. Fe dalam paduan Al-Si merupakan unsur pengotor yang menyebabkan turunnya kekuatan dan ketahanan terhadap korosi [2], Fe lebih dari 2% pada Al-Si akan memicu terbentuknya fase intermetalik β AlSiFe yang dapat mengurangi kekuatan tarik [4] dan ini merupakan masalah yang utama dalam industri pengecoran aluminium daur ulang [5].

Paduan aluminium silikon (Al-Si) merupakan paduan *non heatreatable*, yaitu sebuah material yang mempunyai sifat mekanik tidak dapat diperbaiki dengan perlakuan panas. Salah satu cara alternatif untuk memperbaiki sifat mekanik Aluminium silikon (Al-Si) adalah dengan penambahan *grain refiner* (master alloy Ti) pada saat perlakuan logam cair, yaitu dengan menambahkan unsur asing untuk mengawali pembentukan inti. Karena terjadi kenaikan jumlah inti maka butiran akan menjadi lebih halus, dan butir yang menghalangi pergerakan dislokasi akan bertambah. Hal ini mengakibatkan sifat mekanik suatu paduan logam akan meningkat dan dapat memperhalus butiran struktur mikro [6].



Penelitian ini menganalisa, bagaimanakah pengaruh penambahan *grain refiner* Ti terhadap struktur mikro dan kekerasan pada proses pengecoran tuang dengan menggunakan cetakan logam pada paduan Al-Si yang cukup banyak mengandung unsur Fe (2 %).

2. Landasan Teori

Aluminium murni mempunyai sifat mekanis yang kurang baik. Untuk menaikkan sifat mekanik, maka aluminium dipadu dengan unsur Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya. Satu atau bersamaan unsur tersebut dalam paduan dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis seperti ketahanan korosi, aus, dan menurunkan koefisien muai [1].

Pengecoran aluminium adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan aluminium cair dan cetakan untuk menghasilkan produk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Aluminium dapat meleleh pada temperatur 660°C dan struktur aluminium dapat rusak pada temperatur 800°C . Oleh karena itu proses pengecoran aluminium harus dijaga agar tidak kurang dari 660°C dan tidak lebih dari 800°C .

Paduan Al-Si dapat digolongkan dalam tiga jenis yaitu *hypoeutectic*, *eutectic* dan *hypereutectic*. Pada paduan Al-Si dengan komposisi silikon $<12,6\%$ disebut *hypoeutectic*. Titik *eutectic* pada paduan Al-Si terdapat pada kandungan Si sebesar 12,6%. Sedangkan kandungan silikon $>12,6\%$ disebut *hypereutectic*.

Pada dasarnya perlakuan pada logam cair adalah penambahan unsur atau paduan tertentu ke dalam logam cair sehingga mempengaruhi tingkat fluiditas dari material.

Grain Refining

Grain Refining adalah proses untuk menghaluskan ukuran dan bentuk butir logam menjadi lebih kecil dan homogen dengan melakukan perlakuan terhadap cairan logam pada saat proses pengecoran. Perlakuan yang dilakukan yaitu dengan penambahan elemen – elemen tertentu ke dalam paduan. Elemen yang digunakan untuk proses *grain refining* antara lain Titanium (Ti), Boron (B), dan Zirkonium (Zr) atau gabungannya [7].

Penambahan unsur – unsur tersebut menciptakan nukleus atau benih titanium borida, titanium karbida, aluminium borida atau senyawa intermetalik kompleks lainnya dalam cairan logam. Nukleus dengan jumlah banyak, secara langsung akan mempercepat laju nukleasi dan menahan laju pertumbuhan kristal yang pada akhirnya akan terbentuk butir halus dan merata pada saat benda cor membeku [7].

3. Metode Penelitian

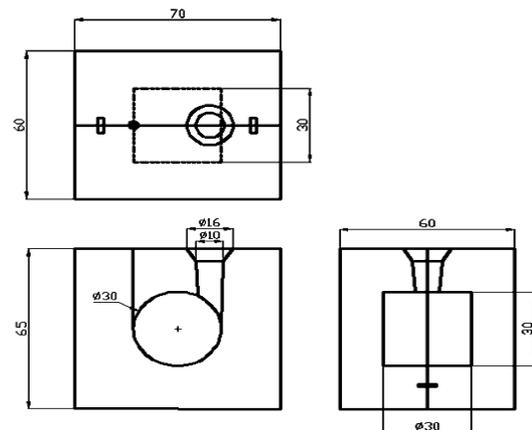
Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan paduan aluminium dengan kandungan 6%Si dan 2%Fe. Alat yang digunakan adalah cetakan logam, termometer dan termokopel, timbangan, dapur peleburan, blower, kowi, tang panjang, kawat nikelin, amplas, autosol, mikroskop optik, alat uji kekerasan brinell, spektrometer, dan peralatan keamanan pengecoran.

Jalannya Penelitian

Pembuatan Cetakan

Cetakan dari besi cor dibuat dengan proses bubut, skrap dan frais dan dibuat sistim *cup and drag* dengan variasi ketebalan coran dengan dimensi seperti Gambar 1.



Gambar 1. Disain cetakan

Pembuatan Ingot

Untuk mendapatkan penambahan komposisi paduan 0.25 %, 0.5 %, 0.75 %, 1%, 2 % dan 3 % dilakukan penimbangan paduan aluminium daur ulang dan master alloy dengan menggunakan timbangan digital.

Peleburan dan Penuangan

Ingot di lebur dalam krusibel pada dapur menggunakan bahan bakar arang kayu. Penambahan panas dan pengaturan panas dengan menggunakan blower. Paduan dicairkan dan dituang pada temperatur penelitian yaitu 700°C . Setelah mencapai temperatur penelitian paduan di tuangkan dan cetakan yang terlebih dahulu telah dipanaskan pada temperatur 300°C pada dapur pemanas dan cetakan dibongkar setelah paduan membeku dalam cetakan.





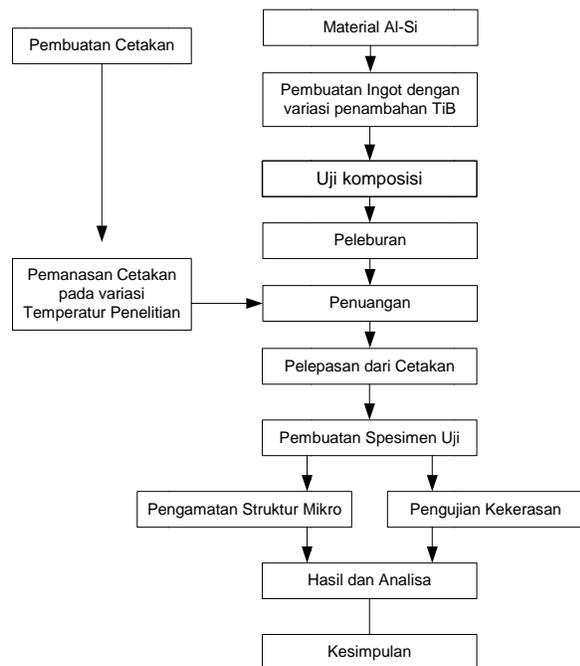
Gambar 2. Spesimen hasil pengecoran

Pembuatan Spesimen Uji

Pengujian komposisi dilakukan di PT Karya Hidup Sentosa Yogyakarta dan Politeknik Manufaktur Ceper Klaten dengan dibuat spesimen uji dengan dimensi 15 x 15 x 15 mm.

Spesimen uji kekerasan dibuat dengan dimensi permukaan 10 x 10 mm dengan di resin serta permukaan di haluskan dengan ampelas dan autosol (menggunakan spesimen uji metalografi). Pengujian kekerasan spesimen dilakukan di laboratorium material teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang dengan menggunakan alat uji kekerasan Brinell (Brinell Hardeness) dengan diameter bola indentor 1,588 mm, pembebanan 100 kg dan indentasi selama 15 detik.

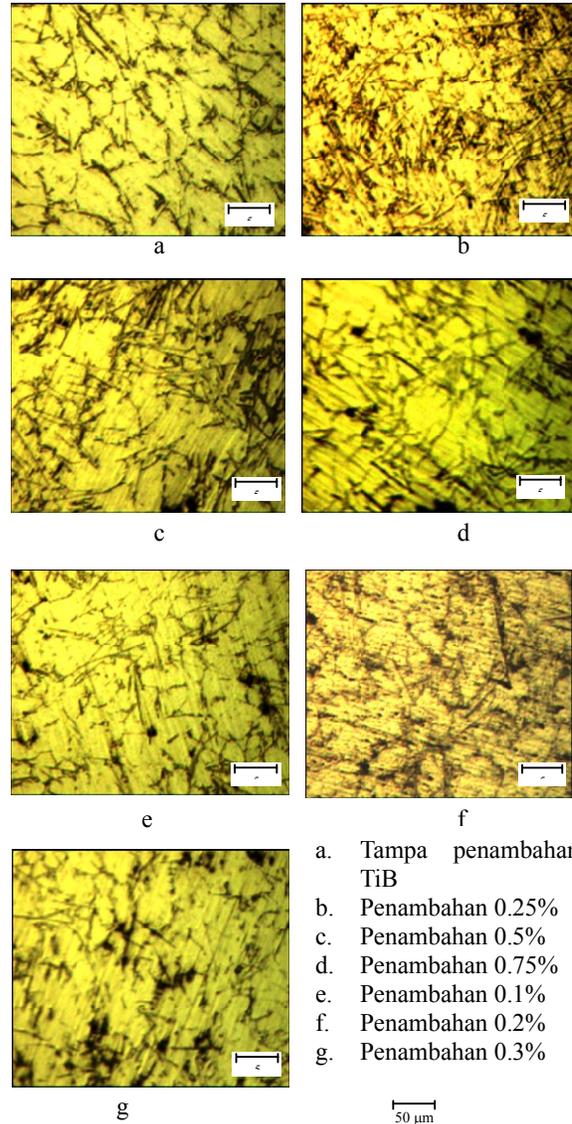
Alur Penelitian



Gambar 3. Alur penelitian

4. Hasil dan Pembahasan Pengamatan Stuktur Mikro

Hasil fotomikro dengan menggunakan mikroskop metalografi ditunjukkan pada gambar 4.



- a. Tanpa penambahan TiB
- b. Penambahan 0.25%
- c. Penambahan 0.5%
- d. Penambahan 0.75%
- e. Penambahan 0.1%
- f. Penambahan 0.2%
- g. Penambahan 0.3%

Gambar 4. Struktur mikro spesimen aluminium daur ulang dengan penambahan

Penambahan Ti 0,25 % dan 0,75 % menunjukkan perubahan yang signifikan pada struktur dendrit. Struktur dendrit terlihat lebih halus dibandingkan pada pengamatan tanpa penambahan Ti. Sedangkan pada penambahan Ti sebesar 0,5 %, 0,1 %, 2 %, dan 3 % tidak menunjukkan perubahan signifikan. Tetapi terlihat perbedaan struktur dendrit silikon yang lebih luas dibandingkan pada spesimen tanpa penambahan Ti.



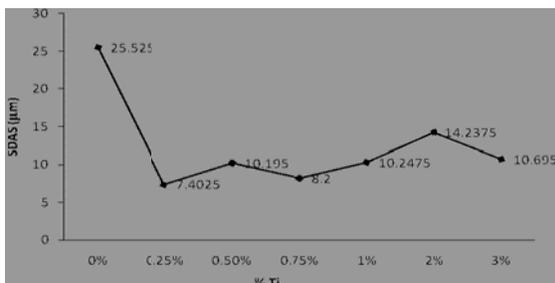
Struktur silikon eutektik yang dihasilkan berbentuk berserabut (*fibrous*) seperti yang dilaporkan Suherman (2007)[9].

Hasil pengamatan di atas semakin menguatkan apa yang disampaikan Gruzleski (1990) [7] bahwa penambahan Ti pada Aluminium akan menciptakan nukleus atau benih titanium borida, titanium karbida, aluminium borida atau senyawa intermetalik kompleks lainnya dalam cairan logam. Nukleus dengan jumlah banyak, secara langsung akan mempercepat laju nukleasi dan menahan laju pertumbuhan kristal yang pada akhirnya akan terbentuk butir halus dan merata pada saat benda cor membeku.

Pernyataan yang sama juga disampaikan Gazanion, dkk (2002) [8] bahwa penambahan penghalus butir TiB pada paduan Al-Si mempengaruhi bentuk pori, karena TiB mempengaruhi proses pembekuan sehingga merubah bentuk morfologi *dendrite*, yakni dari bentuk *columnar* ke bentuk *equiaxed*.

Secondary Dendritic Arm Spacing (SDAS)

Pengaruh Penambahan Ti terhadap ukuran SDAS dapat dilihat pada gambar 5.



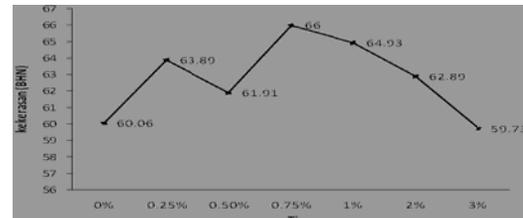
Gambar 5. Grafik pengaruh penambahan Ti terhadap Ukuran SDAS

Peningkatan jumlah butir yang paling signifikan terjadi pada penambahan Ti 0,25% ukuran butir menjadi lebih kecil yaitu 7,40 μm atau kehalusan butir meningkat 70% dari ukuran SDAS pada paduan tanpa penambahan Ti. Pada penambahan Ti 0,5% ukuran butir turun lebih kecil 60,7% yaitu berukuran 10,19 μm , dan penurunan ukuran butir 67,86% terjadi pada penambahan Ti 0.75%, ukuran butir menjadi lebih halus yaitu 8,2 μm . Sedangkan pada penambahan TI 1%, 2% dan 3% juga terjadi peningkatan kehalusan ukuran butir yaitu 10,14 μm ; 14,23 μm dan 10,69 μm atau meningkat 59,87%; 44,23% dan 58,11%.

Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan metode Brinell dengan diameter bola indentor 1,588 mm, pembebanan 100 kg

dan *indentasi* selama 15 detik ditunjukkan pada Gambar 6. Data tersebut menunjukkan bahwa penambahan Ti 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1% dan 2% relatif meningkatkan nilai kekerasan meskipun tidak terlalu signifikan yaitu hanya meningkat pada kisaran 2,99% sampai dengan 9,81%. Peningkatan nilai kekerasan terendah terjadi pada penambahan Ti 0,5% yaitu 61,9 BHN atau hanya terjadi peningkatan kekerasan 2,99% . Sedangkan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada penambahan Ti 0,75% yaitu 66 BHN atau meningkat 9,81% .



Gambar 6. Grafik pengaruh penambahan Ti terhadap kekerasan

Peningkatan nilai kekerasan ini selaras dengan yang disampaikan Suherman (2007) [9] bahwa penambahan Ti pada paduan Aluminium Silikon dengan menggunakan cetakan pasir akan meningkatkan harga kekerasan Brinell. Hal serupa juga disampaikan Ginting (1997-1998), bahwa paduan Aluminium Silikon (Al-Si) merupakan paduan non heatreatable, yaitu sebuah material yang mempunyai sifat mekanik tidak dapat diperbaiki dengan perlakuan panas. Salah satu cara alternatif untuk meningkatkan kekerasan dengan melakukan penambahan penghalus butir Ti.

Sedangkan pada spesimen dengan penambahan Ti 3% menyebabkan nilai kekerasan menurun 0,66 %. Data di atas menunjukkan bahwa penambahan Ti di atas 3% tidak efektif menaikkan nilai kekerasan aluminium daur ulang. Penurunan nilai kekerasan ini terjadi karena Ti menjadi elemen *impurities* atau pengotor setelah ditambahkan lebih dari nilai optimumnya (Suharno 2006).

Penurunan nilai kekerasan ini diperkirakan juga dipengaruhi oleh kandungan unsur Fe yang tinggi, seperti yang di sampaikan Ginting (1997) [4] bahwa pengaruh Fe yang tinggi ($> 0,7\%$) juga menjadi salah satu penyebab menurunnya harga kekerasan karena akan terbentuk β - Al₅FeSi yang berbentuk plat berukuran kasar pada batas butir. Tingginya unsure Fe pada aluminium daur ulang juga di pengaruhi oleh cetakan logam yang terakumulasi pada saat proses pengecoran.

Hubungan Antara Ukuran SDAS dan Nilai Kekerasan

Pengamatan hasil perhitungan SADS dan nilai



kekerasan Brinell menunjukkan bahwa nilai kehalusan butir dan kekerasan tertinggi terjadi pada penambahan Ti 0,25%. Pada penambahan Ti 3% juga terjadi penurunan nilai kehalusan butir dan kekerasan. Hal ini mengindikasikan bahwa hubungan antara kehalusan butir adalah berbanding lurus dengan harga kekerasan. Korelasi tersebut membenarkan apa yang telah disampaikan Ginting (1997) [4] bahwa dengan penambahan unsur Ti pada paduan Aluminium Silikon akan mempengaruhi kenaikan jumlah inti, butiran akan menjadi lebih halus, dan butir yang menghalangi pergerakan dislokasi akan bertambah. Sehingga mengakibatkan sifat mekanik suatu paduan logam akan meningkat dan dapat memperhalus butiran struktur mikro. Hal ini juga diperkuat dengan teori pendekatan Hall Petch bahwa kekuatan luluh tergantung dari ukuran besar butir.

5. Kesimpulan Dan Saran

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan ;

1. Penambahan *grain refiner* Ti pada Aluminium daur ulang dengan cetakan logam dengan prosentase 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1%; 2% dan 3% dapat meningkatkan kehalusan butir struktur mikro. Butir terhalus didapatkan pada penambahan Ti 0.25% dengan ukuran SDAS 7,4 μm atau meningkat 71%.
2. Penambahan *grain refiner* Ti dengan prosentase 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1% dan 2% pada Aluminium daur ulang dengan temperatur cetakan logam 300°C dapat meningkatkan nilai kekerasan meskipun tidak terlalu signifikan. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada penambahan Ti 0.75% yaitu 66 BHN atau meningkat 9,81%. Pada penambahan Ti 3% nilai kekerasan menurun 0,66%. Penurunan nilai kekerasan ini terjadi karena Ti menjadi elemen *impurities* atau pengotor setelah ditambahkan lebih dari nilai optimumnya.
3. Hubungan antara kehalusan butir adalah berbanding lurus dengan harga kekerasan.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi temperatur tuang dan cetakan sehingga kemungkinan akan didapatkan sifat fisis dan mekanis yang lebih baik.
2. Desain cetakan perlu di sempurnakan yaitu penambahan saluran udara di sisi cetakan sehingga udara tidak terjebak pada saat penuangan yang dapat menimbulkan porositas.

Daftar Pustaka

- [1]. Surdia T., dan Saito, S., 1992, "*Pengetahuan Bahan Teknik*," PT Pradnya Paramita, Jakarta. pp. 129- 142.
- [2]. Smith, W.F., 1993, " *Structur and Properties of Engineering Alloys*," Mc. Graw- Hill, Inc. second

Edition.

- [3]. Brown, JR.,1999, "*Foseco- Non Ferrous Foundryman's Hand Book*," Butterworth Heinemann, Eleventh Edition, Oxford.
- [4]. Fang, X., Shao, G., Liu, Y.Q. and Fan, Z., 2000 "Effect of Intensive Forced Melt Convection on The Mechanical Properties of Fe-Containing Al-Si Based Alloys", Brunel University, p.p.1-20.
- [5]. Mondolfo, L.F., 1976, *Aluminum Alloys: Structure and Properties*, Butterworths, London.
- [6]. Ginting Immanuel, 1997, Penguatan Dengan Penghalusan Butir Pada Paduan Hypoeutektik Al-Si 9,4% Si, *Buletin IPT No. 5 Vol. III, Desember 1997-Januari 1998*, 132 ISSN 0854-4700.
- [7]. Gruzleski, John E., Bernard M. Closset, 1990, "*The Treatment of Aluminium Silicone Alloys*," American's Foundrymans Society, Inc. USA.
- [8]. Gazanion, F.H., Chen, X.G. and Dupuis, C., 2002, "*Studies on The Sedimentation and Agglomeration Behavior of Al-Ti-B and Al-Ti-C Refiners*", Materials Science Forum, Switzerland, Vol. 396-402, p.p. 45-52.
- [9]. Suherman, 2007, "Pengaruh Penambahan Sr Atau TiB Terhadap Sifat Mekanis, Struktur Mikro Dan Fluiditas Pada Paduan Al-6%Si" *Thesis S2 UGM*.



