

Received : Februari 2021

Accepted: April 2021

Published : April 2021

Analisis Interfacial Reaction Antara Substrate Cu Dan Solder 96.5sn3.0ag-0.5cu (Sac305) Untuk Pengembangan Aplikasi Semikonduktor

Rima Nurhaliza^{1*}, Andromeda Dwi Laksono², Hizkia Alpha Dewanto³, Andi Idhil Ismail⁴

^{1,2,3}Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

⁴Teknik Mesin, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

*nurhalizarima00@gmail.com

Abstract

Cu substrate and SAC305 solder are some semiconductor materials. The solder joint must have good metallurgical bond strength when the solder and the substrate are joined together. The benefits of soldering will later make interconnections between electrical connections in one substrate that will form a compound or IMC layer. Where the formation of intermetallic compounds (IMC) in the reaction results will be an important role in forming a good bond between the solder and the substrate. Therefore, this research was conducted to analyze the interfacial reaction that occurs between Cu substrate and SAC305 solder when put together. In the preparation stage, the Cu substrate specimen will be cut according to the predetermined dimensions and the cleaning process is carried out on the SAC305 solder ball. After the sample preparation process was carried out the Interfacial Reaction Couple process, the Cu substrate and the SAC305 solder ball were weighed in a 1: 3 ratio and the specimen substrate was immersed in the flux on both sides of the specimen. After that, the Cu substrate specimens and SAC305 solder balls were arranged regularly and placed into the quartz tube and the heating process was carried out in the furnace with reflow temperatures of 270°C, 290°C, 310°C, and 330°C with a reaction time of 50 minutes. The results of the reaction formed between the Cu substrate and the SAC305 solder ball were then sanded and a characterization process was carried out using an optical microscope to see the microstructure formed and characterization of materials in the form of SEM, EDS and XRD. The test results show that the IMC thickness value will increase with the increase in temperature variations. As well as the discovery of Cu₆Sn₅ phases which formed the scallop layer and Cu₃Sn which formed planar close to the Cu substrate in the IMC layer.

Keywords : IMC, Interfacial Reaction, SAC305, Substrate Cu

Abstrak

Substrat Cu dan solder SAC305 merupakan beberapa bahan semikonduktor. Sambungan solder harus memiliki kekuatan ikatan metalurgi yang baik ketika solder dan substrat disatukan. Manfaat solder nantinya akan membuat interkoneksi antara hubungan listrik dalam satu substrat yang akan membentuk senyawa atau lapisan IMC. Dimana terbentuknya senyawa intermetalik (IMC) pada hasil reaksi akan menjadi peran yang penting dari terbentuknya ikatan yang baik antara solder dan substrat. Oleh karena itu dilakukan penelitian ini guna menganalisis *interfacial reaction* yang terjadi antara substrat Cu dan solder SAC305 ketika disatukan. Pada tahap preparasi spesimen substrat Cu akan dipotong sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan dan dilakukan proses *cleaning* pada bola solder SAC305. Setelah proses preparasi sampel dilakukan proses *Interfacial Reaction Couple*, substrat Cu dan bola solder SAC305 ditimbang dengan rasio 1:3 dan spesimen substrat dicelupkan kedalam fluks pada kedua sisi spesimen. Setelah itu, spesimen substrat Cu dan bola solder SAC305 disusun secara teratur dan diletakkan kedalam tabung kuarsa dan dilakukan proses pemanasan didalam tungku dengan temperatur reflow 270°C, 290°C, 310°C, dan 330°C dengan waktu reaksi 50 menit. Hasil reaksi yang terbentuk antara substrat Cu dan bola solder SAC305 kemudian diampas dan dilakukan proses karakterisasi dengan mikroskop optik untuk melihat struktur mikro yang terbentuk serta dilakukan karakterisasi material berupa SEM, EDS dan XRD. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa nilai ketebalan IMC akan meningkat seiring dengan penambahan variasi temperatur. Serta ditemukannya fasa Cu_6Sn_5 yang membentuk lapisan kerang serta Cu_3Sn yang terbentuk secara planar berdekatan dengan substrat Cu pada lapisan IMC.

Kata kunci : IMC, *Interfacial Reaction*, SAC305, Substrat Cu.

1. Pendahuluan

Di dunia saat ini, kehidupan dan aktivitas manusia tidak terlepas dari penggunaan barang elektronik. Barang elektronik sendiri selalu berkaitan dengan bahan-bahan semikonduktor dalam proses pembuatannya. Komponen berbahaya yang terdapat pada barang elektronik secara langsung maupun tidak, memang sangat berpengaruh bagi kesehatan manusia [1]. Alasannya terdapat pada penggunaan konsentri material pada komponen tersebut mengandung racun yang dapat mencemarkan lingkungan dan merusak jaringan tubuh manusia dan bahkan dapat menyebabkan berbagai penyakit berbahaya. Secara ilegal, beberapa negara maju mengirimkan limbah elektroniknya ke negara lain terutama ke negara sedang berkembang di Asia dan Afrika. Akibatnya, pencemaran oleh material beracun dan berbahaya dari limbah elektronik tidak terhindarkan di negara tujuan [2]. Timbal ditemukan dalam bentuk serbuk berwarna abu-abu gelap yang biasanya saat ini digunakan antara lain sebagai bahan produksi baterai dan amunisi, komponen pembuatan cat, pabrik tetraethyl lead, pelindung radiasi, lapisan pipa, pembungkus kabel, gelas keramik, barang-barang elektronik, *tube* atau kontainer, juga dalam proses mematri. Berdasarkan *Institute for Health Metrics Evaluation* (IHME), pada tahun 2017 1,06 juta kematian di dunia disebabkan oleh adanya paparan timbal. Adanya kasus tentang dampak dari limbah bahan elektronik ini tidak terjadi hanya di luar negeri, namun juga terdapat di Indonesia. Pada tahun 2009-2010 20% anak-anak di Indonesia memiliki kandungan timbel dalam darahnya melebihi ambang batas WHO yaitu di atas 10 mikrogram perdesiliter. Dampak adanya kandungan timbal (Pb) dalam darah manusia yakni merusak berbagai organ tubuh manusia,

terutama sistem saraf, sistem pembentukan darah, ginjal, sistem jantung, dan sistem reproduksi [3]. Banyaknya dampak buruk akibat penggunaan material yang berbahaya dan mengandung racun ini membuat beberapa perusahaan semikonduktor untuk melakukan inovasi guna menekan penggunaan material yang beracun khususnya solder timbal. Penggunaan *lead free solder* pada bahan semikonduktor menjadi salah satu inovasi untuk menekan penggunaan solder timbal dan mencegah adanya pencemaran lingkungan serta adanya penyakit yang berbahaya akibat penggunaan solder timbal secara terus menerus.

Pembuatan bahan semikonduktor selain melibatkan adanya penggunaan solder juga melibatkan penggunaan material tembaga sebagai konduktor. Manfaat solder nantinya akan membuat interkoneksi antara hubungan listrik dalam satu substrat yang akan membentuk senyawa IMC. Dimana terbentuknya senyawa intermetalik (IMC) pada hasil reaksi ini menjadi peran penting dari terbentuknya ikatan yang baik antara solder dan substrat. Tanpa adanya IMC, pada sambungan solder dan substrat akan membuat bahan konduktor lemah karena tidak adanya interaksi metalurgi yang terjadi pada ikatan, sehingga hal ini dapat menjadi kelemahan bagi suatu barang elektronik [4].

Berdasarkan uraian diatas untuk membuat inovasi yang optimal pada pengembangan bahan semikonduktor. Khususnya pada lapisan senyawa intermetalik yang terbentuk antara solder dan substrat konduktor, maka perlu kiranya dilakukan penelitian mengenai “Analisis *Interfacial Reaction* antara *Substrate* Cu dan Solder 96.5Sn3.0Ag-0.5Cu (SAC305) untuk Pengembangan Aplikasi Semikonduktor”. Hasil reaksi antarmuka antara

substrat Cu dan solder SAC305 dikarakterisasi dengan mikroskop optik yang berfungsi sebagai pengamatan pertama lapisan IMC yang terbentuk serta permukaan sambungan antarmuka. SEM-EDS yang berfungsi untuk mengamati morfologi lapisan IMC pada struktur mikro serta menganalisis komposisi yang terbentuk dan XRD untuk mengidentifikasi hasil fasa reaksi antarmuka substrat Cu dan solder SAC305

2. Metode Penelitian

Adapun tahapan pelaksanaan penelitian sebagai berikut:

2.1. Preparasi Sampel

Preparasi awal dari penelitian ini adalah Pertama, sampel substrat Cu diamplas dan dipotong sesuai dengan dimensi 10mm x 5mm x 0,1mm. Kedua, sampel substrat Cu yang telah dipotong di *cleaning* dengan menggunakan alkohol. Selain substrat, dilakukan pula *cleaning* terhadap solder SAC305 dengan aseton selama 5 menit untuk menghilangkan minyak atau *oil* yang ada pada permukaan *solder ball*, lalu dilakukan *cleaning* solder SAC305 kembali dengan menggunakan HCl selama 30 detik untuk menghilangkan korosi yang kemungkinan ada pada permukaan solder. Setelah itu, *cleaning* solder yang terakhir dengan menggunakan alkohol selama 5 menit untuk menghilangkan adanya debu atau pengotor lainnya pada permukaan *solder ball*.

2.2. Interfacial Reaction Couple

Sampel substrat Cu dan solder SAC305 yang telah *dicleaning* ditimbang dengan perbandingan rasio 1;3 sesuai dengan penelitian sebelumnya [5]. Lalu, substrat Cu dicelupkan dengan sedikit fluks di kedua sisinya untuk meningkatkan *wettability*. Spesimen substrat Cu dan solder SAC305 diatur dan ditaruh kedalam tabung kuarsa dengan urutan solder, substrat, dan solder. Tabung kuarsa berisi sampel dimasukkan ke dalam *furnace* atau tungku dengan temperatur *reflow* sesuai dengan variabel yakni 270, 290, 310 dan 330 °C dengan waktu reaksi selama 50 menit. Setelah proses reflow, tabung sampel didinginkan secara

lambat dan dibersihkan kembali dengan aseton untuk menghilangkan sisa fluks. Sampel hasil reaksi kemudian diamplas dengan menggunakan kertas abrasif dimulai dengan angka 500, 600, 800, 1200, hingga 2000 secara bertahap. Sampel yang telah diamplas dipoles dengan hati-hati dengan Al₂O₃ ukuran partikel 1µm dan 0,3µm.

2.3. Karakterisasi Material

Terdapat 3 pengujian untuk karakterisasi hasil sampel reaksi yakni Mikroskop Optik, *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *X-ray Diffraction* (XRD). Sampel hasil reaksi dikarakterisasi dengan mikroskop optik atau MO guna pengamatan pertama permukaan setelah prosedur metalografi dan sambungan antarmuka. Dimana pada karakterisasi MO ini pertama, hasil spesimen yang telah *dimounting*, *digrinding* dan telah *dipolishing*. Setelah itu dilakukan pengamatan hasil reaksi dengan menggunakan *Zeiss Digital*. Hasil yang didapatkan dari MO dianalisis dengan menggunakan *Software ImageJ* untuk dianalisis ketebalan lapisan IMC yang terbentuk.

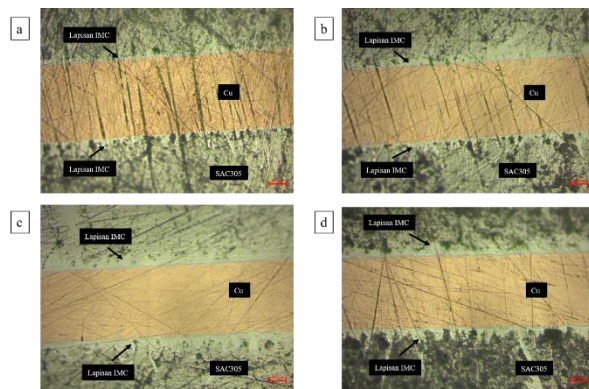
Karakterisasi dengan SEM digunakan untuk mengamati morfologi dan mekanisme analisis pertumbuhan IMC pada struktur mikro penampang. Pada pengujian SEM ini dilakukan preparasi tambahan dengan memberi *carbon tape* yang mengelilingi sekitar hasil *mounting*. Lalu dilakukan analisis SEM.

Setelah itu, fase reaksi pada sampel hasil reaksi diidentifikasi dengan difraksi sinar-X (XRD). Pertama, dilakukan persiapan sampel dengan membuat sampel berukuran 15mm x 15mm x 2mm. Sampel dimasukkan kedalam lubang sampel holder. Sampel yang telah disiapkan diuji menggunakan mesin XRD. Dari Pengujian XRD didapatkan hasil pengujian merupakan informasi berupa pola difraksi. Kemudian dilanjutkan dengan analisa menggunakan *Software Search-Match!* Untuk mengetahui fasa-fasa dan presentase fasa yang terbentuk pada sampel. Serta dilakukan penggabungan pola difraksi serta penandaan fasa-fasa yang terbentuk dengan menggunakan aplikasi *Origin 2021*.

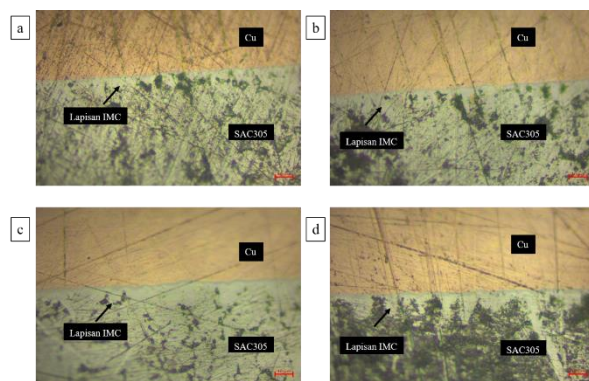
3. Hasil Penelitian

3.1. Hasil Pengujian Mikroskop Optik

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian mikroskop optik pada lapisan IMC hasil *interfacial reaction* antara substrat Cu dan solder SAC305 dengan perbesaran 50 x dan perbesaran 100x pada tiap variasi temperturnya Gambar 1 dan Gambar 2, maka dapat disimpulkan bahwa terbentuknya lapisan IMC hasil *interfacial reaction* antara substrat Cu dan solder SAC305. Hal ini sesuai dengan pernyataan menurut [6], dimana selama proses penyolderan, akan terjadi pembentukan antar muka senyawa intermetalik (IMC) yang dimana hal ini menunjukkan adanya salah satu mekanisme terhubungnya solder dan substrat.



Gambar 1. Hasil mikroskop optik *interfacial reaction* substrat Cu dan solder SAC305 perbesaran 50x pada variasi temperatur (a) 270°C; (b) 290°C; (c) 310°C; (d) 330°C



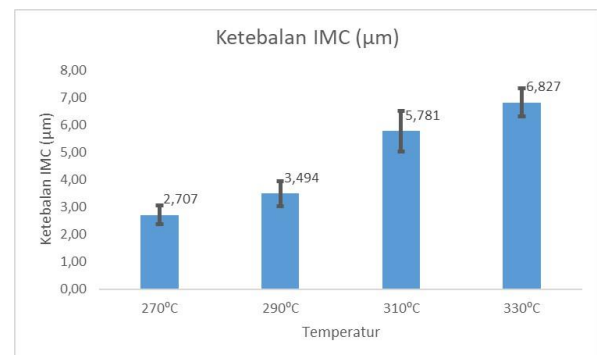
Gambar 2. Hasil mikroskop optik *interfacial reaction* substrat Cu dan solder SAC305 perbesaran 100x pada variasi temperatur (a) 270°C; (b) 290°C; (c) 310°C; (d) 330°C

Dimana pada gambar terlihat pula perbedaan ketebalan lapisan IMC pada setiap variasi temperturnya Tabel 1.

Tabel 1. Ketebalan rata-rata lapisan IMC hasil *interfacial reaction* antara substrat Cu dan solder SAC305 pada setiap variasi temperatur

Temperatur (°C)	Ketebalan Lapisan IMC (µm)			Ketebalan rata-rata Lapisan IMC (µm)
	1	2	3	
270	2,432	3,091	2,606	2,707 ± 0,342
290	4,023	3,169	3,289	3,494 ± 0,462
310	5,080	5,846	6,418	5,781 ± 0,742
331	7,383	6,714	6,384	6,827 ± 0,509

Berdasarkan data Tabel 1 dapat dilihat bahwa pada temperatur 270°C ketebalan rata-rata lapisan IMC sebesar $2,707 \pm 0,342 \mu\text{m}$, pada temperatur 290°C adalah $3,494 \pm 0,462 \mu\text{m}$, dan pada temperatur 310°C sebesar $5,781 \pm 0,742 \mu\text{m}$, serta pada temperatur 330°C sebesar $6,827 \pm 0,509 \mu\text{m}$. Dari data ketebalan lapisan IMC Tabel 1. didapatkan grafik Gambar 3.



Gambar 3. Grafik ketebalan rata-rata lapisan IMC hasil *interfacial reaction* substrat Cu dan solder SAC305 pada setiap variasi temperatur.

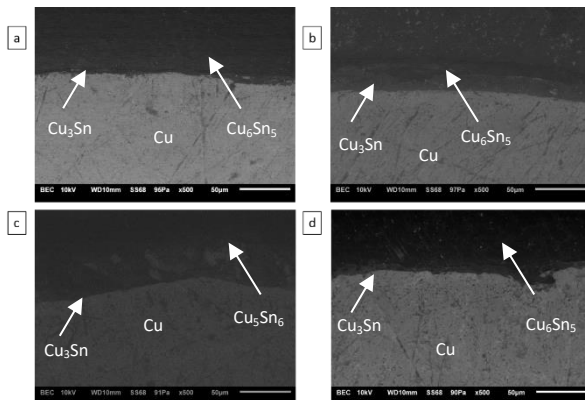
Dari Gambar 3. dapat terlihat bahwa terjadi peningkatan ketebalan rata-rata lapisan IMC seiring dengan meningkatnya variasi temperatur. Ketebalan IMC terendah pada temperatur 270°C dengan nilai $2,707 \pm 0,342 \mu\text{m}$. Serta, ketebalan tertinggi pada temperatur 330°C dengan nilai $6,827 \pm 0,509 \mu\text{m}$. Adanya peningkatan ketebalan rata-rata lapisan IMC seiring dengan meningkatnya variasi temperatur dikendalikan oleh adanya difusi atom Cu. Hal ini sesuai pula dengan

pernyataan[7] pertumbuhan dan pembentukan lapisan IMC bergantung pada laju difusi, temperatur dan waktu sesuai dengan hukum Fick. Sehingga dapat dijelaskan bahwa ketebalan lapisan IMC akan meningkat seiring dengan peningkatan temperatur yang mempengaruhi laju difusi.

Dimana ketebalan IMC ini juga akan mempengaruhi sifat mekanik yang dihasilkan. Menurut [8], kekuatan mekanik yang dihasilkan oleh solder SAC mengalami penurunan seiring dengan peningkatan temperatur. Dengan adanya peningkatan temperatur maka hasil *yield stress*, *strain rate* serta modulus elastisitas pada SAC akan menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa seiring dengan meningkatnya temperatur akan menurunkan sifat mekanik pada hasil sambungan SAC305. Dimana adanya peningkatan temperatur ini akan meningkatkan pula pertumbuhan IMC serta ketebalannya sesuai dengan Tabel 1.

3.2. Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope Lapisan IMC

Setelah diamati hasil SEM yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil SEM *interfacial reaction* substrat Cu dan solder SAC305 perbesaran 500x pada variasi temperatur (a) 270 °C;(b) 290 °C;(c) 310 °C;(d) 330 °C

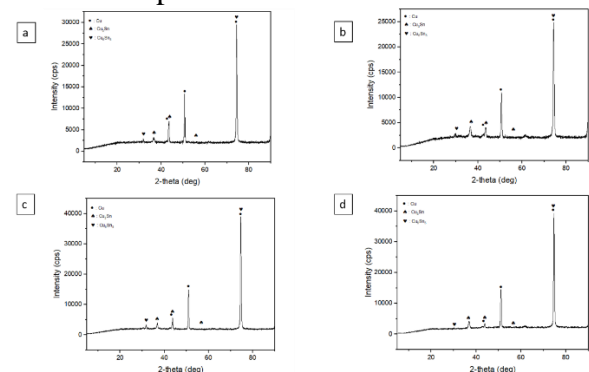
Melalui hasil SEM pada lapisan antarmuka substrat Cu dan solder SAC305 dapat terlihat bahwa terbentuk lapisan IMC CuSn. Lapisan IMC yang terbentuk yakni Cu_6Sn_5 dan Cu_3Sn . Lapisan Cu_6Sn_5 membentuk lapisan seperti kerang. Menurut [9], difusi atom Cu berguna

untuk pertumbuhan IMC yang lebih cepat dan akan membentuk lapisan seperti kerang seiring dengan meningkatnya temperatur yang teridentifikasi sebagai fasa Cu_6Sn_5 . Terdapat pula lapisan Cu_3Sn yang terbentuk secara planar dan berdekatan dengan substrat Cu. Hal ini sesuai dengan pernyataan [10], jika reaksi dilakukan >1000 detik maka lapisan Cu_3Sn akan terbentuk secara planar dan membentuk lapisan tipis.

Dengan melihat komposisi unsur antara substrat Cu dan solder SAC305. Dapat dianalisis bahwa akan terjadi difusi atom Cu. Hal ini dapat terjadi karena solder yang digunakan kaya akan Sn. Ketika solder SAC305 dengan substrat Cu direaksikan maka solder yang mengandung Cu bertemu dengan substrat Cu yang akan membentuk konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan Sn. Terjadinya difusi antara substrat Cu dan solder SAC305 yang terjadi dari konsentrasi yang tinggi yakni Cu dan ke konsentrasi yang lebih rendah Sn. Sesuai dengan pernyataan [11], hukum Fick menjelaskan bahwa akibat adanya perbedaan konsentrasi ketika dua elemen disatukan maka akan terjadi pergerakan molekul secara spontan dari konsentrasi yang tinggi ke konsentrasi yang rendah karena adanya energi yang tinggi hal ini yang didefinisikan sebagai difusi.

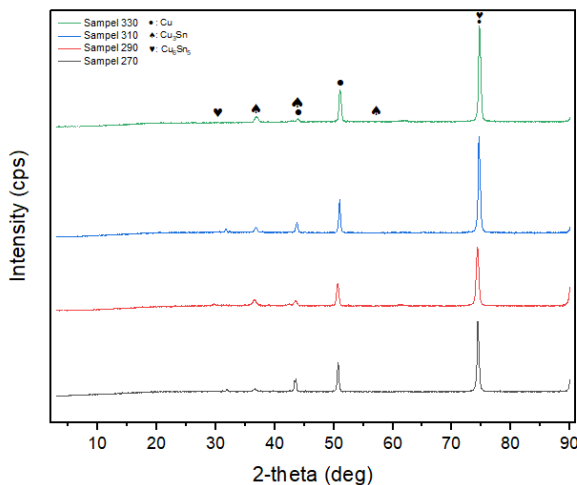
3.3. Hasil Pengujian X-Ray Diffraction Lapisan IMC

Gambar 5 dan Gambar 6 menjelaskan hasil *X-Ray Diffraction* (XRD) pada lapisan IMC antara substrat Cu dan solder SAC305 tiap variasi temperatur



Gambar 5. Grafik XRD pada lapisan IMC antara substrat Cu dan solder SAC305 tiap variasi temperatur 270°C ; (b) 290°C ; (c) 310°C ; (d) 330°C

Setelah dilakukan pengujian SEM guna melihat morfologi dari lapisan IMC yang terbentuk pada antarmuka substrat Cu dan solder SAC305 maka dilakukan karakterisasi material selanjutnya dengan pengujian XRD pada lapisan IMC. Pengujian XRD ini dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi fasa reaksi yang terbentuk pada lapisan IMC antara substrat Cu dan solder SAC305. Setelah didapatkan hasil grafik XRD kemudian dilakukan pengolahan data dengan menggunakan aplikasi *Match!* Serta *Origin* dan didapatkan hasil Gambar 4.6 dan 4.7. Melalui Gambar 4.6 menunjukkan hasil bahwa pola XRD dengan *peak* 2θ terdapat unsur Cu pada *peak* $74,38^\circ$, $50,76^\circ$ dan $43,4^\circ$, fasa Cu_6Sn_5 pada *peak* $74,4^\circ$ dan $31,78^\circ$ serta fasa Cu_3Sn pada *peak* $55,9^\circ$, $43,6^\circ$ dan $36,4^\circ$. Sesuai dengan ICDD Cu No. 00 – 004-0836, $\eta\text{-Cu}_6\text{Sn}_5$ ICDD No. 01–071–5036 dan $\eta'\text{-Cu}_6\text{Sn}_5$ ICDD No. 01–072–8761 [12], dimana Cu sesuai dengan nilai bidang 2θ yaitu 111, 100, 110 serta Cu_6Sn_5 804 dan 101.



Gambar 6. Grafik XRD pada lapisan IMC tiap variasi temperatur

Melalui aplikasi *Match!* Didapatkan presentase dari kedua fasa Cu_6Sn_5 dan Cu_3Sn dengan besar presentase masing-masing fasa 83,8% Cu_6Sn_5 dan 16,2% Cu_3Sn . Terbentuknya fasa Cu_6Sn_5 akan lebih besar dibandingkan

dengan fasa Cu_3Sn dikarenakan pembentukan Cu_3Sn terjadi setelah terbentuknya Cu_6Sn_5 . Hal ini dapat terjadi karena adanya difusi atom Cu dan Sn yang ada pada lapisan antarmuka, pertama akan menghasilkan pembentukan lapisan Cu_6Sn_5 yang diikuti dengan pembentukan lapisan Cu_3Sn yang akan terbentuk didekat substrat Cu. Menurut [13], selama proses penyolderan substrat Cu akan bersentuhan dengan solder dan membentuk dua lapisan IMC Cu_6Sn_5 dan Cu_3Sn . $\eta\text{-Cu}_6\text{Sn}_5$ terbentuk pertama dan disusul dengan $\epsilon\text{-Cu}_3\text{Sn}$ pada antarmuka Cu. Terbentuknya $\eta\text{-Cu}_6\text{Sn}_5$ merupakan fasa yang menguntungkan secara kinetik. Namun, dengan terbentuknya $\epsilon\text{-Cu}_3\text{Sn}$ akan menunjukkan adanya fasa stabil secara termodinamika.

Adanya dominasi presentase fasa Cu_6Sn_5 yang didapatkan dari hasil *Match!* berpengaruh pula pada sifat mekanik dari hasil sambungan. Menurut [14], dominasi fasa Cu_6Sn_5 ini telah menghasilkan kekuatan sambungan yang cukup baik namun dengan adanya kemunculan fasa Cu_3Sn yang lebih tinggi pada lapisan IMC akan meningkatkan laju regangan, modulus elastisitas serta tegangan geser pada kekuatan hasil sambungan. Berdasarkan pernyataan [15], pada industri komponen elektronik, laju regangan yang tinggi merupakan hal yang penting dikarenakan komponen elektronik harus mampu menerima beban kejutan yang bisa saja terjadi ketika komponen diaplikasikan. Peningkatan pertumbuhan fasa Cu_3Sn ini dapat terjadi ketika temperatur *reflow* serta waktu reaksi ditingkatkan.

Melihat diagram fasa biner pada Cu-Sn menunjukkan adanya fasa Cu_3Sn dan Cu_6Sn_5 . Dimana ketika Cu dan Sn direaksikan maka akan mengalami difusi dan mencapai kesetimbangan yang didukung dengan terbentuknya Cu_6Sn_5 serta Cu_3Sn . Didukung dengan pernyataan [16], pada diagram fasa Biner Cu-Sn menunjukkan bahwa dua IMC CuSn yang terbentuk, $\epsilon\text{-Cu}_3\text{Sn}$ dan $\eta\text{-Cu}_6\text{Sn}_5$ dapat terbentuk pada proses penyolderan dengan suhu reflow karena interdifusi.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu :

1. Sambungan yang terbentuk antara substrat Cu dan solder SAC305 adalah lapisan IMC dengan fasa Cu_6Sn_5 berbentuk lapisan kerang dan lapisan IMC fasa Cu_3Sn yang terbentuk secara planar di dekat substrat Cu. Adanya variasi temperatur *reflow* pada antarmuka substrat Cu dan solder SAC305 akan mempengaruhi ketebalan IMC yang dihasilkan. Ketebalan IMC terendah pada temperatur 270°C dengan nilai $2,707 \pm 0,342 \mu\text{m}$. Serta, ketebalan tertinggi pada temperatur 330°C dengan nilai $6,827 \pm 0,509 \mu\text{m}$. Ketebalan IMC akan meningkat seiring dengan pertambahan variasi temperatur. Adanya peningkatan ketebalan rata-rata lapisan IMC seiring dengan meningkatnya variasi temperatur ini dikendalikan oleh adanya difusi atom Cu.

5. Saran

Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut lanjut dengan mengembangkan variabel waktu reaksi, melakukan pengujian *mapping composition* dan melakukan pengujian terkait sifat keelektronikan hasil sambungan

6. Daftar Pustaka

- [1] J. J. H. B. Nahor, "Implikasi dan Pengolaan Limbah Elektronik," *Buletin Utama Teknik*, Vol. 14, No. 2, 2019.
- [2] S. Wahyono, "Kebijakan Pengelolaan Limbah Elektronik Dalam Lingkup Global dan Lokal," *Kebijakan Pengelolaan, Badan Pengkajian dan Penerapan Tekhnologi*, p. 2012.
- [3] Y. Ardillah, "Faktor Resiko Kandungan Timbal Di Dalam Darah," *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, vol. 7, no. 3, pp. 150-155, 2016.
- [4] A. M. L.M. Lee, "Interfacial Reaction of Sn-Ag-Cu Lead-Free Solder Alloy on Cu: A Review," *Adv Mater Sci Eng*, 2013.
- [5] C. J. Y. J. Y. Y. Laksono. A, "Interfacial Reaction between Sn and Cu-Ti Alloy (C19990HP)," *Material Science Forum*, vol. 964, pp. 263-269, 2019.
- [6] C.-M. C. d. K.-L. Lin, "Effect of Microelement Addition On The Interfacial Reaction Between Sn-Ag-Cu Solders and the Cu Substrate," *Journal of Electronic Materials*, Vol. 32, No. 12, pp. 1426-1431, 2003.
- [7] P. K. Bernasko, "Study Intermetallic Compound Layer Formation, Growth and Evaluation of Shear Strength of Lead-Free Solder Joint," *Electronic Manufacturing Engineering Research Group (EMERG) School of Engineering*, 2012.
- [8] W. Z. E. P. X. Z. X. Z. F.X. Che, "The Study of Mechanical Properties of Sn-Ag-Cu lead-free Solders With Different Ag Contents and Ni doping Under Different Strain Rates and Temperatures," *Journal of Alloys and Compounds* 507, pp. 215-224 , 2010.
- [9] R. L. Z. Y. Chunjing Hang, "Influence of Interfacial Intermetallic Growth on the Mechanical Properties of Sn-37Pb Solder Joints Under Extreme Temperature Thermal Shock," *Appl.Sci Journal*, 2018.
- [10] A. W. T. F. Y. Ai Ting Tan, "Influence of Nanoparticle Addition On the Formation and Growth of Intermetallic Compounds (IMCs) in Cu/Sn-Ag-Cu/Cu Solder Joint During Different Thermal Conditions," *Science and Technology of Advance Materials*, pp. 14-18, 2015.
- [11] K. N. A. C. R. Larissa Zhou, "Understanding Diffusion Theory and Fick's Law Through Food and Cooking," *Laboratory Research Project*, 2015.
- [12] C. W. J. H. H. C. H. C. M. L. Z.H. Zhang, "Growth Evolution and Formation Mechanism of η' - Cu_6Sn_5 Whiskers On η - Cu_6Sn_5 Intermetallics During Room-Temperature Ageing," *Acta Meterilia* 183, pp. 340-349, 2020.

- [13] P. T. d. K. K. Mookam N, "Effect of copper content in Sn-based solder on intermetallic phase information and growth during soldering," *IOP Conf Series : Material Science and Engineering* 361 , 2018.
- [14] J. L. Z. L. X. S. Y. Z. H. N. H. T. H. D. J. F. H.Y. Zhao, "A Comparative Study on the Microstructure and Mechanical Properties of Cu₆Sn₅ and Cu₃Sn Joints Formed by TLP Soldering With/Without the Assistance of Ultrasonic Waves," *Metallurgical and Materials Transaction A*, 2018.
- [15] X. y. Y. Q. H. Y. L. Z. M. Xiaowu Hu, "Effect of Strain Rate on Interfacial Fracture Behaviors of Sn-58Bi/Cu Solder Joints," *Journal Material Science : Material Electron*, pp. 27-64, 2014.
- [16] C. A. H. A. D. Santosh Kumar, "Intrinsic and Interdiffusion ic Cu-Sn System," *Jornal of Phase Equilibria and Diffusion*, Vol. 32, No. 4, pp. 309-319, 2011.