

Design of Experiment pada proses Immersion Tin Plating

Widya Rika Puspita¹, Lindawani Siregar¹, Ika Karlina Laila NS¹, and Ira Zamzami¹,

Budiana¹, Fitriyanti Nakul¹, Nur Sakinah Asaad¹, Adlian Jefiza¹

¹Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia
Electrical Engineering Department Program
Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia
Email: widya@polibatam.ac.id

Abstrak

PRT (papan rangkaian tercetak) atau PCB (printed circuit board) adalah sebuah papan berlapis tembaga yang merupakan wadah untuk komponen-komponen elektronika yang tersusun membentuk rangkaian elektronik. Permukaan tembaga yang mudah oksidasi (korosi) perlu dilapisi dengan lapisan Sn (timah). Berdasarkan study case di TFME untuk proses tin plating dengan teknik electroplating memerlukan biaya lebih. Proses immersion tin plating dianggap lebih unggul dari segi biaya maupun kualitas. Untuk menentukan kombinasi parameter yang tepat sehingga mendapatkan ketebalan yang sesuai dengan standar IPC-4554 yaitu minimal 1000 nm, metode penelitian yang dipakai adalah Design of Experiments (DoE). Terdapat sembilan kombinasi eksperimen dari hasil DoE. Pengujian kombinasi parameter dilakukan dengan menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) machine. Kombinasi empat sampai sembilan telah memenuhi standar IPC yaitu dengan ketebalan antara 1040 – 1540 nm. Parameter yang tepat didapat oleh kombinasi 5 dengan parameter suhu 700 dan waktu 60 menit, dan hasil ketebalan rata-rata 1.2 μm serta memiliki nilai ketidakpastian pengukuran terkecil yaitu 7.

Kata kunci: PCB, electro tin plating, immersion tin plating, Design of Experiment (DoE)

Abstract

PRT (papan rangkaian tercetak) or PCB (printed circuit board) is a copper-coated board which is a container for electronic components arranged to form electronic circuits. Copper surfaces that are easy to oxidize (corrosion) need to be soothed with a layer of Sn (tin). Based on the TFME study case, the electroplating technique requires more cost for tin plating. The immersion process of the tin plating model is superior in terms of cost and quality. To determine the right combination parameters so as to obtain a thickness that is in accordance with the IPC-4554 standard, namely a minimum of 1000 nm, the research method used is Design of Experiments (DoE). There are nine experimental combinations of the DoE results. Combination parameter testing is done using a SEM (scanning electron microscope) machine. The combination of four to nine has met IPC standards with a thickness of between 1040-1540 nm. The correct parameter is obtained by the combination of 5 with the parameter temperature of 700 and time of 60 minutes, and the result is an average thickness of 1.2 μm and has an uncertain value of measurement is 7.

Keywords: PCB, electro tin plating, immersion tin plating, Design of Experiment (DoE)

1. Pendahuluan

Dunia industri terus bersaing untuk menciptakan piranti elektronik yang berkualitas, detail, terstruktur dan efisiensi dari segi biaya produksinya. Piranti elektronik ini membutuhkan suatu media untuk menghubungkan antar komponen satu dan komponen lainnya agar berfungsi dengan

baik. Media ini biasanya disebut sebagai papan rangkaian tercetak (PRT) atau yang sering disebut *printed circuit board* (PCB). PRT atau PCB merupakan suatu papan berlapis tembaga (Cu) yang bertujuan untuk menghubungkan komponen elektronika sesuai dengan lapisan jalur konduktornya sehingga tersusun membentuk suatu rangkaian elektronik. [1]

Komponen elektronik ini harus terpasang dengan benar agar dapat berfungsi dengan baik, sehingga diperlukan suatu PCB sebagai medianya. Pada permukaan top atau bottom PCB akan dipasang komponen dengan proses penyolderan antara kaki – kaki komponen dan PCB. Untuk mempermudah proses penyolderan, dimana timah solder lebih cepat menempel pada permukaan tembaga jika diberikan lapisan tin sebelumnya. [2-3] Hasil akhir dari pelapisan timah ini tidak hanya memudahkan proses penyolderan tapi juga memiliki fungsi untuk melindungi jalur tembaga dan mencegah tembaga dari terjadinya oksidasi. [5-6]

Berdasarkan study case di TFME pelapisan timah pada permukaan tembaga PCB menggunakan dua teknik yang berbeda. Di antaranya adalah proses *electro tin plating* dan *immersion tin plating*. Proses *electro tin plating* merupakan teknik pelapisan logam dengan menggunakan bantuan arus listrik dan larutan penghantar, Sehingga memerlukan biaya lebih. *Immersion tin plating* melalui proses perendaman dengan larutan ion logam dan tidak menggunakan arus listrik. Teknik immersion memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan teknik *electroplating* yaitu ongkos produksi yang rendah, warna yang mengkilap, serta tahan terhadap gesekan. [4] Berdasarkan pertimbangan tersebut, untuk mengurangi biaya produksi dan mempermudah proses penyolderan PCB secara manual maupun menggunakan mesin SMT (*surface mount technology*) di TFME, proses manufaktur pcb yang sebelumnya menggunakan proses electro tin plating menjadi immersion tin plating.

Implementasi pelapisan permukaan tembaga PCB menggunakan immersion tin plating dalam penerapannya agar terlapisnya permukaan tembaga PCB dengan mengendalikan jumlah bahan kimia dan konsentrasi Sn (timah) dalam satu kali proses *immersion plating*. Untuk mengendalikan jumlah dan konsentrasi diperlukan sebuah parameter yang tepat, menggunakan metode design of experiment (DoE). [7]

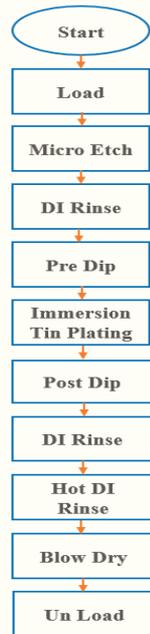
Design of Experiments (DoE), disebut juga dengan Multifactor Testing (MFT), merupakan metode yang efektif karena memungkinkan untuk melakukan pengujian terhadap efek dari beberapa variasi parameter secara bersamaan dan efisien. Pendekatan ini telah lama digunakan secara luas oleh industri manufaktur karena mampu memberikan terobosan dalam meningkatkan kualitas produk dan efisiensi proses. [7-8] Metode DoE bertujuan untuk menambahkan kualitas PCB menggunakan biaya seminimal mungkin, dan

merujuk pada proses PCB yang diterapkan di dalam TFME. DoE *immersion tin plating* ini akan diterapkan di *Teaching Factory Manufacturing of Electronic* (TFME) Politeknik Negeri Batam. Bertujuan sebagai acuan dasar dalam penerapan immersion tin plating dengan takaran yang tepat agar laboran di TFME dapat menambah kualitas produksi PCB dan sebagai bahan pengajaran mengacu pada standar IPC – 4554. [9]

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen. Secara singkat proses *immersion tin plating* harus melewati beberapa tahapan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Proses pertama setelah menyelesaikan pembuatan sampel PCB adalah menghilangkan oksidasi dari permukaan PCB atau disebut proses *micro etch* yang kemudian dibilas dengan *DI (Deionized) water* yaitu air yang sudah dihilangkan ion-ion anorganiknya. Dan selanjutnya adalah proses *pre-dip* atau pra-pelapisan dimana terjadi proses deposisi yang disebabkan oleh adanya ikatan intermetalik antara timah dan tembaga. Proses *pre-dip* menggunakan timah murni tanpa campuran, selanjutnya adalah proses *immersion tin plating* adalah proses desposisi timah pada permukaan PCB. Dilanjutkan dengan proses *post dip*, menghilangkan uap air/oksigen untuk meminimalisir kemung-kinan oksidasi timah. *Hot DI rinse* adalah proses pembilasan dengan *DI water* panas. Terakhir adalah proses *blow dry*, proses pengeringan PCB.

Untuk memperoleh ketebalan lapisan timah sesuai standar IPC-4554, terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi yaitu jumlah timah (g/L), suhu (°C), serta lama peren-daman (menit). Macdermid menetapkan nilai optimum untuk masing-masing parameter yang diberikan pada Tabel 1 berikut ini. [10]



Gambar 1. Proses *immersion tin plating*

Tabel 1 operating parameter immersion tin plating MacDermid

Parameter	Rentang Nilai	Optimum
jumlah timah (g/L)	13-17	15
suhu (°C)	68-72	70
lama perendaman (menit)	45-75	60

Untuk tetap menjaga konsentrasi larutan, maka perlu dilakukan pemeriksaan secara berkala. Prosedur menghitung konsentrasi timah (Sn) dalam larutan *immersion tin plating* adalah dengan cara mengambil 5.0 mL sampel larutan *immersion tin plating* yang diletakkan kedalam breaker dan ditambahkan dengan *DI water*. Mulai dengan kalibrasi pH = 4 dan pH = 7. Letakkan pH elektroda ke dalam sampel, dengan ditambahkan *xylenol orange* di ujung spatula. Titrasi kan 0.1 M EDTA sampai larutan berubah dari merah muda menjadi warna kuning. Berdasarkan eksperimen ini hasil EDTA yang dibutuhkan adalah 5.55 ml. berikut adalah perhitungan yang dibutuhkan untuk mengetahui kebutuhan konsentrasi timah per literanya.

$$\begin{aligned}
 \text{Tin (g/L)} &= \text{mL dari 0.1 EDTA} \times 2.374 \\
 &= 5.55 \times 2.374 \\
 &= 13.757 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

Nilai konsentrasi Tin yang diperoleh telah memenuhi standar operasi yang ditetapkan oleh Macdermid pada Tabel 1, sehingga proses tin plating dapat dilakukan.

Teknik pengujian pada penelitian ini adalah dengan cara memberikan perlakuan yang berbeda pada masing-masing parameter menggunakan metode DoE. Faktor dan level yang digunakan pada penelitian ditentukan berdasarkan data pada Tabel 1 Variabel konsentrasi timah dijaga konstan, sehingga terdapat dua faktor dan 3 level dengan mengacu pada rentang nilai dan nilai optimum untuk masing-masing faktor dan diringkas pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. Parameter dan level untuk metode DoE

Parameter / Variabel	Level
<i>Temperature</i> °C	68
	70
	72
<i>Time (minutes)</i>	45
	60
	75

Pada tabel di atas dapat diuraikan interaksi antara parameter satu dan yang lainnya dengan memberikan perlakuan / *level* yang berbeda. Dari uraian tersebut dapat ditentukan berapa banyak jumlah eksperimen yang akan dilakukan sebagai berikut :

L = jumlah level

f = Jumlah Variabel

$$\text{Jumlah Treatment} = L^f$$

$$\text{Experiment} = 3^2$$

$$\text{Experiment} = 9$$

Tabel 3. Data untuk pengujian *Design of Experiment*

Kombinasi	Parameter		Ketebalan		
	Suhu (°C)	Waktu (menit)	1	2	3
1	68	45			
2	68	60			
3	68	75			
4	70	45			
5	70	60			
6	70	75			
7	72	45			
8	72	60			
9	72	75			

Hasil dari interaksi antara parameter dan level adalah sembilan kombinasi, dan dengan parameter yang sama dilakukan tiga kali pengukuran ketebalan. Ini dilakukan untuk verifikasi hasil, dan

mendapatkan nilai yang pasti. Sehingga nilai hasil yang didapatkan lebih akurat.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada eksperimen ini yang digunakan adalah PCB *double layer* dengan bagian *top layer PCB* dilapisi oleh *solder masking* dan bagian *bottom layer* tidak terlapisi oleh *solder masking*, hanya tembaga (*copper*). Hal ini di maksudkan untuk mempermudah pada saat inspeksi menggunakan *SEM Machine*.

Proses pertama adalah *routing PCB* menjadi ukuran 40 mm x 60 mm, kemudian masuk pada proses *immersion tin plating* seperti pada Gambar 1. Proses ini dilakukan berulang untuk Sembilan kombinasi. Selanjutnya proses *mounting* dengan cara memotong (*routing*) PCB menjadi ukuran 10mm x 20mm yang dimana sampel ini diletakkan kedalam *tube* dan dipadatkan dengan larutan *epoxy resin*. Proses *mounting* ini dilakukan untuk semua kombinasi, dimana setiap kombinasi memiliki tiga sampel dalam satu tube. Sampel yang telah kering tersebut kemudian dipotong kembali (*mounting process*) menggunakan mesin *microsection* hingga menjadi setengah dari ukuran semula, agar mendapat permukaan yang rata. Terakhir pembersihan menggunakan *ultrasonic cleaner* untuk menghilangkan debu dan *debris* dari proses *mounting*.

Proses kedua adalah pengukuran dengan mesin SEM (*scanning electron microscopy*). *Scanning* pada permukaan morfologi *cross section* akan memperoleh hasil persentase tin dari area yang dipilih. Di bawah ini adalah tabel pengukuran *weight percentage* dari hasil rata-rata setiap pengukuran morfologi permukaan *cross section*.

Tabel 4. tabel *weight percentage* morfologi permukaan horizontal

	Tin (Sn)%	Oksigen (O) %	Tembaga (Cu) %	Unsur lain
Kombinasi 1	15.8%	36.1%	44.9%	3.2%
Kombinasi 2	26.7%	37.1%	33.7%	2.4%
Kombinasi 3	47.6%	29.3%	12.9%	10.2%
Kombinasi 4	38.7%	31.2%	20.8%	9.1%
Kombinasi 5	33.1%	29.8%	33.5%	3.5%
Kombinasi 6	18.9%	31.1%	35.0%	15.1%
Kombinasi 7	36.8%	31.5%	26.5%	5.2%
Kombinasi 8	34.6%	31.8%	27.6%	6.0%
Kombinasi 9	27.2%	27.9%	35.4%	9.5%

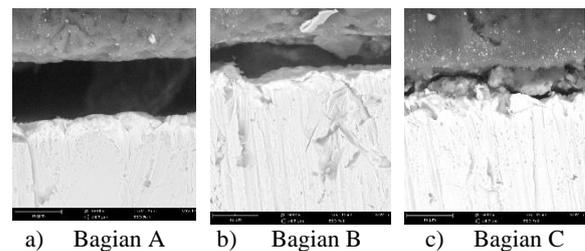
Berdasarkan tabel di atas, *weight percentage* unsur Tin (Sn) tertinggi adalah kombinasi ke-tiga dengan parameter level suhu 680 dan waktu 70 menit. Dan *weight percentage* Tin (Sn) terendah adalah

kombinasi pertama dengan parameter level suhu 68^o dan waktu 70 menit.

Pada tabel 4 dapat diamati unsur timah (Sn), oksigen (O) dan timah (Cu) saling mendominasi. Lapisan timah yang minim saat melapisi tembaga dapat disebabkan oleh struktur morfologi yang tidak rata. Area lapisan timah yang juga didominasi oleh oksigen disekitar permukaan tembaga adalah karena oksidasi selama terjadinya proses *immersion tin plating*, proses pengadukan secara manual dan proses penyimpanan, hal inilah yang menyebabkan permukaan sampel tidak homogen.

Selanjutnya dari hasil tersebut dapat diukur ketebalannya dari hasil *tin map* nya. Dalam satu *tube* terdapat tiga PCB, yang masing-masing didalam PCB diukur ketebalannya menjadi tiga posisi, yaitu Posisi A, B, dan C. dan masing-masing posisi diukur dengan dua kali pengulangan. Berikut adalah hasil sampel dari kombinasi 5 dengan parameter suhu 70^oC dan waktu 60 menit.

Hasil Parameter Kombinasi 5 (T: 70^oC; t: 60 menit)
A. Parameter kombinasi pengukuran 5.1 (T: 70^oC; t: 60 menit)

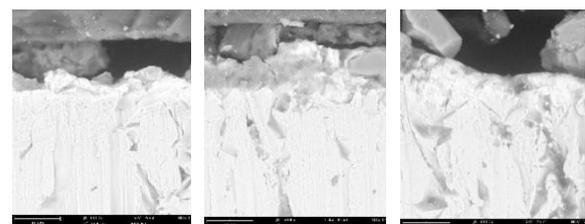


Gambar 2 hasil pengukuran 1; *sample 5.1* bagian A, B, dan C

Tabel 4. Pengukuran 1 *sample 5.1*

Hasil Pengukuran ketebalan lapisan Tin 5.1		
A	B	C
1.09 μm	1.20 μm	1.15 μm
1.27 μm	1.33μm	1.34μm

B. Parameter Kombinasi 5.2 (T: 70^oC; t: 60 menit)

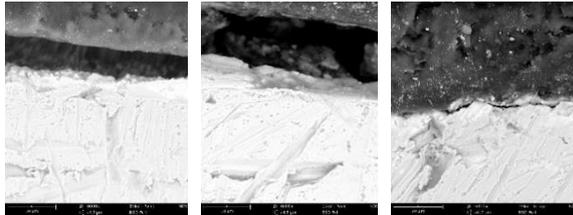


Gambar 3 hasil pengukuran 2; *sample 5.2* bagian A, B, dan C

Tabel 5. Pengukuran 2 sample 5.2

Hasil Pengukuran ketebalan lapisan Tin 5.2		
A	B	C
1.10 μm	1.24 μm	1.18 μm
1.14 μm	1.27 μm	1.31 μm

C. Parameter Kombinasi 5.3 (T: 70°C; t: 60 menit)



Gambar 4 hasil pengukuran 3; sample 5.3 bagian A, B, dan C

Tabel 6. Pengukuran 3 sample 5.3

Hasil Pengukuran ketebalan lapisan Tin 5.3		
A	B	C
1.14 μm	1.14 μm	1.19 μm
1.27 μm	1.18 μm	1.44 μm

Berikut dilampirkan tabel ketebalan lapisan tin dari hasil pengukuran ke-sembilan kombinasi dengan dilengkapi hasil perhitungan rata-rata (Mean) yang dapat dilihat pada Tabel 7. Kemudian ketebalan lapisan tin dengan mengambil data ketebalan dari hasil mean total disertai dengan ketidakpastian pengukuran yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Berdasarkan Tabel 7 dan 8, jika memperhitungkan ketidakpastian, kombinasi 4 hingga kombinasi 9 telah memenuhi standar IPC 4554, yaitu minimal ketebalan adalah 1000 nm. Dengan mempertimbangkan nilai ketidakpastian pengukuran yang kecil, kombinasi yang paling baik yaitu kombinasi 5 dengan parameter level suhu 700 dan waktu 60 menit.

Tabel 7. Hasil pengukuran ketebalan tin dengan 3 kali pengulangan pengukuran

Kombinasi Ke -	posisi	Ketebalan 1 (dalam mm)			Ketebalan 2 (dalam mm)		Ketebalan 3 (dalam mm)	
		1	2	3	1	2	1	2
kombinasi 1	A	702	795	874	874	874	874	918
	B	875	792	788	743	824	824	834
	C	791	748	748	831	833	833	876
	mean	789	778	803	816	844	844	876
	mean total	784			810		860	
kombinasi 2	A	836	976	832	705	873	918	918
	B	831	831	789	959	788	903	903
	C	876	764	788	831	875	891	891
	mean	848	857	803	832	845	904	904
	mean total	852			817		875	
kombinasi 3	A	785	917	920	881	834	852	852
	B	711	969	878	879	843	759	759
	C	791	748	923	964	798	876	876
	mean	762	878	907	908	825	829	829
	mean total	820			908		827	
kombinasi 4	A	1090	1220	1240	1270	1130	1140	1140
	B	1050	1090	1100	1100	1270	1440	1440
	C	1450	1140	1050	1180	1050	1140	1140
	mean	1197	1150	1130	1183	1150	1240	1240
	mean total	1173			1157		1195	
kombinasi 5	A	1090	1270	1100	1140	1140	1270	1270
	B	1200	1330	1240	1270	1140	1180	1180
	C	1150	1180	1180	1310	1190	1440	1440
	mean	1147	1260	1173	1240	1157	1297	1297
	mean total	1203			1207		1227	
kombinasi 6	A	1310	1360	1310	1360	1280	1050	1050
	B	1240	1410	1240	1410	1220	1440	1440
	C	1190	1540	1190	1540	1140	1230	1230
	mean	1247	1437	1247	1437	1213	1240	1240
	mean total	1342			1342		1227	
kombinasi 7	A	10090	1040	1180	1530	1220	1050	1050
	B	1100	1350	1180	1230	1100	1180	1180
	C	1140	1220	1130	1310	1310	1350	1350
	mean	110	1203	1163	1357	1210	1193	1193
	mean total	1157			1260		1202	
kombinasi 8	A	1040	1260	1100	1140	1200	1130	1130
	B	1040	1220	1100	1350	1100	1130	1130
	C	1100	1190	1280	1490	1050	1270	1270
	mean	1060	1223	1160	1327	1107	1200	1200
	mean total	1142			1243		1153	
kombinasi 9	A	1090	1120	1180	1320	1180	1220	1220
	B	1270	1350	1180	120	1050	1360	1360
	C	1040	1330	1230	1270	1140	1240	1240
	mean	1133	1267	1197	903	1123	1273	1273
	mean total	1200			1050		1198	

Tabel 8. Hasil pengukuran ketebalan dan nilai ketidakpastian pengukuran

KOMBINASI	PARAMETER		KETEBALAN (nm)			MEAN (nm)	KETIDAKPASTIAAN PENGUKURAN (nm)
	SUHU	WAKTU	1	2	3		
Kombinasi 1	68	45	784	810	860	818	22
Kombinasi 2	68	60	852	817	875	848	17
Kombinasi 3	68	75	820	908	827	852	28
Kombinasi 4	70	45	1173	1157	1195	1175	11
Kombinasi 5	70	60	1203	1207	1227	1212	7
Kombinasi 6	70	75	1342	1342	1227	1304	38
Kombinasi 7	72	45	1157	1260	1202	1206	30
Kombinasi 8	72	60	1142	1253	1153	1183	35
Kombinasi 9	72	75	1200	1050	1198	1149	50

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan lapisan permukaan morfologi tin setelah dilakukan pengecekan dengan menggunakan SEM machine tidak terdistribusikan secara menyeluruh dan homogen. Hal ini diperkirakan karena teknik pengadukan yang dilakukan secara manual serta permukaan tembaga yang tidak rata. Semua PCB selama proses immersion tin mengalami oksidasi. Dengan oksidasi tertinggi dimiliki oleh kombinasi 2 dengan parameter level suhu 680 dan waktu 60 menit tingkat rata-rata oksidasi 37%. Kombinasi 4 – 9

dengan suhu dimulai dari 700 telah memenuhi standar IPC 4554 yaitu minimal 1000 nm. Hal ini sesuai dengan ketentuan suhu optimum dari MacDermid. Kombinasi parameter yang tepat dan ketebalan yang sesuai IPC-4554 adalah kombinasi 5 dengan level suhu 700, waktu 60 menit dan ketebalan rata-rata adalah 1212 nm. Memiliki nilai ketidak-pastian pengukuran terendah yaitu 7.

Daftar Pustaka

- [1] LaDou, J. 2006. Printed circuit board industry. *International journal of hygiene and environmental health*, 209(3), 211-219.
- [2] Roberts, H., & Johal, K. 2007. Lead-Free Board Surface Finishes. In *Lead-Free Soldering* (pp. 221-269). Springer, Boston, MA.
- [3] Chen, Y. H., Wang, Y. Y., & Wan, C. C. 2007. Microstructural characteristics of immersion tin coatings on copper circuitries in circuit boards. *Surface and Coatings Technology*, 202(3), 417-424.
- [4] Schwartz, M. 2016. *Encyclopedia and handbook of materials, parts and finishes*. CRC press.
- [5] Arazna, A., Krolikowski, A., Koziol, G., & Bielinski, J. 2013. The corrosion characteristics and solderability of immersion tin coatings on copper. *Materials and Corrosion*, 64(10), 914-925.
- [6] Whitlaw, K. J., Toben, M. P., Egli, A., Crosby, J. N., & Robinson, C. S. 2010. U.S. Patent No. 7,695,605. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [7] Antony, J., et al., 2011. Design of experiments for non-manufacturing processes: benefits, challenges and some examples. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 225(11), 2078-2087.
- [8] Krishnaiah, K., & Shahabudeen, P. 2012. *Applied design of experiments and Taguchi methods*. PHI Learning Pvt. Ltd..
- [9] IPC. 2007. *IPC-4554 Specification for Immersion Tin Plating for Printed Circuit Boards*, Illinois.
- [10] Packageprep Ce Tin S- Solderability Enhancement for Semiconductor Packages. 2017. Macdermid Enthone, Kwun Tong, Kowloon, Hong Kong.