

Optimasi Parameter Proses *Powder Coating* pada Plat *Electro Galvanized*

Sukarman^{1*}, Ilmi Ramanda Sitorus², Budi Aribowo³, Dede Ardi Rajab⁴, Yadi Heryadi⁵

^{1,4,5} Mechanical Engineering Department, STT Wastukencana

Jl. Cikopak No.53, Purwakarta, Jawa Barat, 4115.

^{2,3} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Al Ahzar Indonesia.

Jl. Sisinga Mangaraja Kebayoran Baru, Jakarta 12110.

*sukarman@stt-wastukencana.ac.id

Abstrak

Makalah ini menyajikan ikhtisar optimasi parameter proses *powder coating* pada logam *electro-galvanized* (SECC-AF JIS G 3313). Ketebalan lapisan painting merupakan factor penting yang menentukan dalam proteksi logam terhadap karat. Pada proses *powder coating* ketebalam merupakan salah satu variable yang sulit dikontrol konsistensinya. Penelitian ini menggunakan material Ral 7016 *epoxy polyester* dengan ketebalan yang disyaratkan antara 70 -100 *micron*. Sementara itu, pada proses aplikasi masih ditemukan *powder-paint* yang lebih tipis dari standar. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai ketebalan powder coating optimum dari kombinasi parameter proses yang ditetapkan. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan *array orthogonal L₁₂ Taguchi* dengan parameter, program, jarak, metode aplikasi, dan jumlah layer. Metode optimasi ini telah berhasil melakukan perbaikan. Ketebalan rata-rata lapisan paint powder tertinggi mencapai 76,8 *micron*. Untuk parameter yang diberikan, jarak merupakan parameter yang memberikan dampak tertinggi terhadap ketebalan dengan rasio S/N sebesar 5,114. Hasil ini diharapkan bias digunakan untuk mengembangkan powder coating pada aspek-sapek signifikan lainnya.

Kata kunci: Powder coating, Metode Taguchi, Minitab, Electro Galvanized, dan Epoxy-polyester

I. PENDAHULUAN

Dengan semakin ketatnya penerapan regulasi yang mengatur tentang kesehatan, keselamatan, dan pencemaran lingkungan dalam industri pelapisan logam, telah meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga kesehatan, keselamatan da pelestarian lingkungan. Ini telah menyebabkan kebutuhan mendesak untuk mengurangi penggunaan *volatile organic compounds* (VOC). Regulasi REACH (*Registration, Evaluation, Authorization & restriction of Chemicals*) terkini telah membatasi pelapis berbahan organik konvensional, VOC, seperti hidrokarbon (heksana, toluena, xilena), alkohol (metanol, etanol, sikloheksanol), dan ester (etil asetat, butil asetat), isobutyl asetat). keton (aseton, MEK, MIBK) [1]. Penerapan regulasi REACH memicu banyak permintaan penelitian di bidang *powder coating*. Faktor lainnya adalah karena *powder coating* semakin populer dan keberhasilan pada sisi komersial. *Powder coating* menghadirkan beberapa keuntungan termasuk sedikit atau tidak ada

kandungan organik yang mudah menguap, pemanfaatan tinggi, penghematan energi dan tidak adanya limbah berbahaya [2] [3]. *Powder coating* merupakan salah satu metode aplikasi coating yang paling cepat berkembang. *Powder coating* memberikan alternative terkait dengan biaya produksi, kinerja coating, dan dampak lingkungan [4]. *Powder coating* adalah pelapisan solid 100% yang diaplikasikan sebagai bubuk kering dan selanjutnya dibentuk menjadi film melalui pemanasan. Metode aplikasi menggunakan pengikat padat dan pigmen [1] [5]. Secara umum terdapat dua tipe *powder coating* yaitu *thermoplastic powders* dan *thermosetting powders* [4] [5].

Penelitian tentang optimasi proses *powder coating* belum banyak dilakukan. Pembahasan tentang tentang sifat coating terkait dengan ketahanan goresan dan keausan untuk mencegah keparahan kerusakan dilakukan oleh Zouari dkk. Penelitian dilakukan dengan membandingkan lapisan *polyester composite* dan *epoxy* yang ditambahkan masing-masing 5% MoS₂. Hasil penelitian menunjulan lapisan komposit *epoxy* yang

diperkuat oleh 5% dari berat MoS₂ memiliki respons tahan gores yang baik dibandingkan dengan komposit *polyester composite* yang diperkuat oleh 5% berat MoS₂ [6].

Metode Taguchi telah banyak digunakan dalam banyak proses fabrikasi. Thakur, 2014, telah menggunakan metode ini untuk optimalisasi proses *resistance spot welding* (RSW). Penelitian ini melakukan optimasi parameter proses RSW untuk material lembaran baja galvanis. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi dengan enam parameter dan tiga tingkat percobaan. Analisis parameter proses RWS dilakukan menggunakan Anova. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa parameter yang paling signifikan yang mempengaruhi kekuatan sambungan adalah arus pengelasan dan waktu pengelasan, sedangkan parameter waktu pemerasan dan waktu tahan merupakan faktor yang kurang signifikan [7]. Shinde 2016, telah menggunakan metode Taguchi untuk optimalisasi *process* (THP). Penelitian ini menggunakan metode *Taguchi* dalam empat parameter dan tiga tingkat percobaan. Hasil ini diketahui bahwa jari-jari sudut die, panjang tabung dan ketebalan tabung secara signifikan mempengaruhi THP [8].

Berbeda dengan dua penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan metode *Taguchi* untuk meningkatkan ketebalan film pada proses *paint powder*. Penelitian ini menggunakan empat parameter dan dua level percobaan. Percobaan dilakukan menggunakan array *Taguchi L12 orthogonal*. Parameter yang digunakan adalah

program, jarak, metode aplikasi, dan jumlah lapisan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai optimum dari ketebalan proses *paint powder* dari kombinasi parameter proses yang ditentukan.

II. METODOLOGI

A. Prosedur Eksperimen

Sebelum eksperimen dimulai, semua kondisi peralatan yang digunakan dan kondisi pengaturan pengujian harus dicek dan dipastikan memenuhi persyaratan *safety*. Penelitian eksperimen ini menggunakan *spray gun OptiStar CG07* berkapasitas 100 W dan sambungan *vibrator 110/220 VAC*. Parameter program yang akan digunakan pada eksperimen ini meliputi, *powder output (%)*, *total air volume (in Nm³/h)*, *spray current (in μA)* dan *high voltage (in kV)*. Keempat parameter diseting dalam dua program yaitu P01 dan P02. Penyetingan *spray gun* dilakukan melalui "*Gun control unit*". Penelitian ini menggunakan program 01(P01) dan program 02 (P02). Parameter untuk setiap program tersaji pada table 1.

Tabel 1. Penyetingan *spray gun*

Parameters setting	P01	P02
Powder output display (%)	65	65
Total air volume display (in Nm ³ /h)	46	46
Spray current display (in μA)	22	21
High voltage display (in kV)	44	52

Hasil peyetingan *spray gun* pada P01 dan P02 tersaji pada gambar berikut:



Gambar 1. Program P01 & P02 pada *spray gun control unit*

B. Orthogonal Array (OA) dan Eksperimen Taguchi

Penelitian ini menggunakan metode Taguchi dengan menggunakan 4 variabel dan 2 level

pengujian. Parameter yang digunakan adalah program, jarak (cm), metode dan jumlah Layer (cycles). Parameter optimasi untuk setiap level yang digunakan tersaji pada tabel berikut:

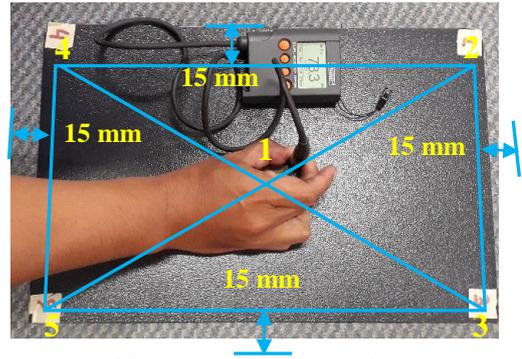
Tabel 2. Parameter optimasi Taguchi

Kode	Faktor	Level	
		1	2
A	Program	P01	P02
B	Jarak (cm)	20	30
C	Metode	Vertikal	Vertikal-Horizontal
D	Jumlah Layer (cycles)	3	4

Pada penelitian ini, empat parameter/faktor dikontrol dalam dua level eksperimen. Pengendalian keempat parameter ini 7 memiliki derajat kebebasan (*degrees of freedom*). Dalam penelitian ini, desain *orthogonal array* L_{12} memiliki 11 derajat kebebasan. Dengan menggunakan program Minitab maka diperoleh matrik eksperimen pada tabel 3.

Proses aplikasi spray powder coating diseting sesuai dengan matrik optimasi L_{12} pada tabel 3. Sample untuk masing-masing iterasi dibuat 5 unit. Setelah proses powder coating, selanjutnya dilakukan pengukuran ketebalan *powder coating* dan dicatat seperti pada table 3. Pengukuran dilakukan pada titik 1, 2, 3, 4 dan 5.

Metode Pengukuran dilakukan dengan menggunakan menggunakan alat ukur ketebalan *coating* dengan posisi sesuai dengan gambar berikut:



Gambar 2. Titik pengukuran ketebalan powder coating

Tabel 3. Data eksperimen untuk ketebalan *powder coating*

No	Faktor				Ketebalan (dalam μmm)					Rata - rata
	Program	Jarak	Metode	Jumlah Layer	1	2	3	4	5	
1	1	1	1	1	58.01	58.52	69.10	54.22	38.98	55.77
2	1	1	1	1	47.35	64.95	66.64	77.86	45.64	60.49
3	1	1	2	2	66.87	60.68	93.66	97.61	74.18	78.60
4	1	2	1	2	50.25	42.46	68.42	46.05	77.02	56.84
5	1	2	2	1	54.62	56.63	77.30	62.98	47.28	59.76
6	1	2	2	2	39.66	42.18	71.71	97.57	44.90	59.20
7	2	1	2	2	55.16	68.42	56.81	78.14	57.46	63.20
8	2	1	2	1	73.30	55.92	88.16	46.75	61.71	65.17
9	2	1	1	2	65.48	51.31	42.26	46.17	49.24	50.89
10	2	2	2	1	55.64	67.99	45.50	94.41	33.12	59.33
11	2	2	1	2	41.62	49.89	13.81	19.44	12.38	27.43
12	2	2	1	1	14.54	51.27	28.95	38.83	35.09	33.74

Tabel 3 menunjukkan data pengukuran powder coating pada tiap-tiap iterasi. Jumlah sample yang dilakukan pengukuran adalah 5 sampel dengan 5 titik pengukuran yang dirata-ratakan. Jarak titik pengukuran dari sisi plat berjarak 15 μmm . Hal ini bertujuan untuk mendapatkan data ketebalan powder coating yang akurat.

C. Material

Powder coating pada penelitian ini diaplikasikan pada plat *Electro-Galvanized*. Sifat-sifat mekanik dan komposisi kimia menurut JIS 3313 tersaji pada tabel 4 dan 5:

Tabel 4. *Mechanical properties and coating weight*

SECC-AF	JIS 3313	Coil no. CPC4938A
YP (N/mm ²)	-	183
TS (N/mm ²)	270 min.	299
EL (%)	36 min.	44
Coat. weight (gr/m ²)	18 min.	19.1
Thickness coting (μm)*	2.5 min	2.64

Thickness = coating weight/ density, zinc density = 7,14 gr/ cm³

Tabel 5. *Chemical composition in %*

SECC-AF	JIS 3313	Coil no. CPC4938A
C	0.15 max.	0,0145
Mn	0,06 max.	0,1500
P	0,05 max.	0,0092
S	0,05 max.	0,0060

Material paint powder yang digunakan dalam penelitian ini adalah Ral 7016 *epoxy polyester*. Material ini telah lolos uji ketahanan karat pada 500 hours. Proses pengujian menggunakan standar *ASTM B117 salt spray corrosion test* dan dievaluasi menggunakan standar *ASTM D 1654)-Rating of Failure at Scribe (Procedure A)*. Spesifikasi material powder coating sebagai berikut:

Tabel 6. Spesifikasi Ral 7016 *epoxy polyester*

Parameters	Spec.	Batch 308C-14
Colour	R-7016	R-7016
Deviation Δ E	Max. 0.5	0.35
Hardness	Min. H	H
Gloss, 60 degree	60%+/- 2	61%
Adhesion (at 2 mm)	Gt. 0	Gt. 0
Corrosion creep*	≥ Rating 6	Rating 9
Particle Size:		
• >80 μm	< 40 %	20.00%
• >20 μm	< 75 %	70.00%

Material ini memiliki ketahanan karat rating 9 (skala 0-10, semakin tinggi ratingnya maka akan semakin baik ketahanan karatnya).

D. S/N Ratio dan Eksperimen

Dalam analisis ini, dilakukan 12 percobaan secara acak berdasarkan OA (*orthogonal array* L12.) Lima respons diambil untuk setiap pengaturan. Parameter powder coating bervariasi sesuai nilai untuk setiap level yang diberikan pada Tabel 2. Nilai rata-rata ketebalan film dan rasio S/N diberikan pada Tabel 2.

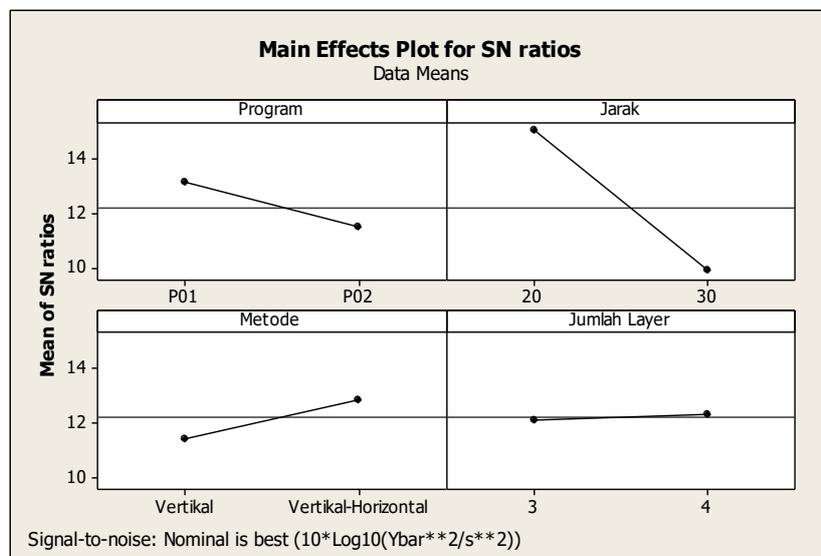
Karena ketebalan film harus memiliki nilai yang tertinggi untuk kinerja terbaik maka untuk menghitung *Signal to Noise* (SN Ratios) dengan karakteristik *target is best*. *Target is best* merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan the S/N ratio berdasarkan pada *means* dan *standard deviations*. Pencapaian nilai tertinggi maka kualitas yang dihasilkan merupakan yang terbaik (Castilo 2007). Rumus S/N ratio dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$S/N = 10 \log 10 \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (1)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Optimum Parameter Proses Powder coating

Metode Taguchi menggunakan *signal to noise* (S/N) ratios, yang menunjukkan sensitivitas karakteristik yang diinginkan untuk faktor input, dalam proses yang terkendali. Kondisi optimal diperoleh dengan mendefinisikan efek dari masing-masing faktor input pada karakteristik output. Tujuan dari analisis S/N ratios adalah untuk menentukan tingkat yang tepat dari input yang berbeda untuk mencapai respons terbaik. Grafik respon S/N ratios untuk data rata-rata ketebalan powder coating berdasarkan software *Minitab* tersaji pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik S/N Ratios software Minitab

Karena menggunakan pendekatan S/N ratios dengan karakteristik *target is best* maka pada variable program, terlihat bahwa program P01 memiliki

pengaruh respon yang lebih tinggi dibandingkan dengan program P02. Dengan pendekatan lain bisa dikatakan bahwa program pada level ke-1 lebih

signifikan mempengaruhi respon ketebalan *paint powder* dibandingkan program level 2. Nilai rasio S/N untuk program level 1 dan 2 berturut-turut adalah 13.119 dan 11.478.

Pada parameter jarak spray, terlihat pada grafik bahwa jarak 20 cm memiliki pengaruh respon yang lebih tinggi dibandingkan dengan jarak 30 cm. Bisa disebutkan juga bahwa jarak spray pada level ke-1 lebih signifikan mempengaruhi respon ketebalan *paint powder* dibandingkan level 2. Nilai rasio S/N untuk program level 1 dan 2 berturut-turut adalah 15.013 dan 9.900.

Pada parameter metode, terlihat pada grafik bahwa metode vertical-horizontal memiliki pengaruh respon yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode vertical. Bisa disebutkan juga bahwa jarak spray pada level 2 lebih signifikan mempengaruhi respon ketebalan *paint powder* dibandingkan level 1. Nilai rasio S/N untuk kedua metode pada level 1 dan 2 berturut-turut adalah 11.445 dan 12.873.

Pada parameter jumlah leyer, terlihat pada grafik bahwa jumlah leyer 4 memiliki pengaruh respon yang lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah leyer 3. Bisa disebutkan juga bahwa jarak spray pada level 2 lebih signifikan mempengaruhi respon ketebalan *paint powder* dibandingkan level 1. Nilai rasio S/N untuk kedua metode pada level 1 dan 2 berturut-turut adalah 12.117 dan 12.313.

Dari grafik respon *S/N ratios* terlihat bahwa parameter jarak memiliki respon SN tertinggi sebesar 5.114. Respon tertinggi berikutnya adalah program sebesar 1.641, metode sebesar 1.428 dan jumlah layers sebesar 0.196. Data respon *S/N ratios* data ketebalan powder coating pada setiap level eksperimen teraji pada table 7.

Nilai ketebalan yang diperoleh dari setiap percobaan, dimasukkan ke dalam software Minitab. Kemudian setiap parameter didefinisikan berdasarkan pada nilai S/N. Semakin tinggi nilai S/N, semakin baik hasilnya. Pada penelitian ini diketahui bahwa ketebalan rata-rata tertinggi dicapai pada saat menggunakan program level 1, jarak pada level 1 cm, metode pada level 2 dan jumlah leyer pada level 2. Kondisi ini sesuai dengan nilai S/N yang tertinggi (Gbr. 3 dan Tabel 7). Berdasarkan Tabel 7, semakin tinggi nilai delta untuk setiap parameter, semakin penting parameter dalam proses tersebut. Oleh karena itu, dalam hal pentingnya, parameter yang dipelajari dalam penyelidikan ini adalah; program, jarak, metode,

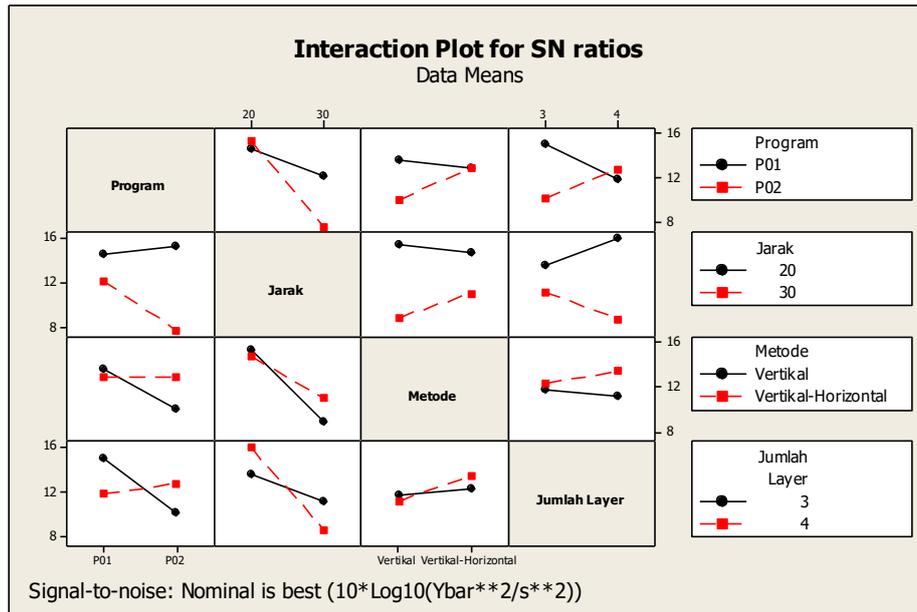
dan jumlah layer masing-masing. Parameter optimal yang diusulkan oleh *software Minitab* untuk proses optimasi parameter powder coating diberikan pada tabel 7.

Tabel 7. Tabel Respon untuk SNR dan Rata-rata

Response Table for Signal to Noise Ratios Nominal is best ($10 \cdot \log_{10} (Y_{bar}^{**2}/s^{**2})$)					
Level	Program	Jarak	Metode	Jumlah Layer	
S/N	1	13.199	15.013	11.445	12.117
	2	11.478	9.900	12.873	12.313
Delta		1.641	5.114	1.428	0.196
Rank		2	1	3	4
Response Table for Means					
Level	Program	Jarak	Metode	Jumlah Layer	
S/N	1	62,51	63,20	45,40	55,23
	2	49,96	49,38	64,21	56,03
Delta		12,55	13,81	18,81	0,80
Rank		3	2	1	4
Response Table for Standard Deviations					
Level	Program	Jarak	Metode	Jumlah Layer	
S/N	1	14,28	11,50	11,93	13,85
	2	13,40	15,72	15,36	13,76
Delta		0,88	4,23	3,43	0,09
Rank		3	1	2	4

B. Intersection Plot Parameters

Intersection Plot digunakan untuk melihat interaksi gabungan terhadap *variable* respon, yaitu dengan melihat adanya perpotongan grafik dari masing-masing parameter yang diukur. Perpotongan grafik-grafik satu sama lain menandakan adanya interaksi di antara keduanya. Dari gambar 4, dapat diketahui bahwa interaksi antara parameter program dengan jarak (A x B), program dengan jumlah leyer (A x D), jumlah layer dengan program (D x A), jumlah leyer dengan jarak (D x B) dan jumlah leyer dengan metode (D x B), terlihat secara signifikan mempengaruhi variabel respon (variable ketebalan powder coating). Hal ini terlihat dari adanya perpotongan kedua grafik pada tiap-tiap parameter, yang berpotongan satu sama lain. Sedangkan interaksi pada parameter jarak dengan program (B x A), jarak dengan metode (B x C), jarak dengan jumlah layer (B x D), metode dengan jumlah leyer (C x D), dan program dengan metode (A x C) tidak signifikan mempengaruhi variabel respon (variable ketebalan *paint powder*). Kondisi ini terlihat dari tidak adanya perpotongan kedua grafik parameter tersebut. berpotongan grafik parameter satu dengan parameter lainnya.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Interaksi Faktor terhadap Rata-rata Ketebalan Powder coating

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan pada produksi peralatan perkantoran pada stasiun *powder coating*. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh tertinggi terhadap variable response adalah jarak dengan nilai delta sebesar 5,114 yang kemudian diikuti tiga *factor* lainnya yaitu, program sebesar 1,641, metode sebesar 1,428) dan jumlah layer sebesar 0,196. Hal ini sesuai dengan data ketebalan rata-rata tertinggi yang dicapai yaitu 78,6 µmm yang dicapai pada iterasi no 3. Kondisi ini dicapai pada adalah tersebut dicapai pada program 01, jarak 20 cm, metode vertikal-horizantal, dan jumlah layer 4. Penelitian ini telah memberikan solusi terhadap otimasi parameter powder coating sehingga respons terhadap ketebalan powder coating bisa ditingkatkan. Untuk mengetahui konsistensi pengaruh empat variable bebas terhadap variable response akan dilakukan penelitian lanjutan terhadap material lainya yaitu *Ral 9002 epoxy-polyester*.

REFERENSI

- [1] Z. Du, S. Wen, J. Wang, C. Yin, D. Yu, and J. Luo, "Review of Powder Coating," *J. Mater. Science Chem. Eng.*, vol. 4, pp. 54–59, 2016.
- [2] S. M. Mirabedini and A. Kiamanesh, "The effect of micro and nano-sized particles on mechanical and adhesion properties of a clear polyester powder coating," *Prog. Org. Coatings*, vol. 76, no. 11, pp. 1625–1632, 2013.
- [3] B. Shirkavand Hadavand, M. Ataefard, and H. Fakhrazadeh Bafghi, "Preparation of modified

nano ZnO/polyester/TGIC powder coating nanocomposite and evaluation of its antibacterial activity," Compos. Part B Eng., vol. 82, pp. 190–195, 2015.

- [4] B. Utech. "A Guide to High-performance Powder Coating", vol. 60. 2002.
- [5] F. N. Jones, M. E. Nichols, and S. C. Papas, *Organic Coatings Science and Technology*, no. 1. Wiley, 2017.
- [6] M. Zouari, M. Kharrat, M. Dammak, and M. Barletta, "Scratch resistance and tribological performance of thermosetting composite powder coatings system: A comparative evaluation," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 263, pp. 27–35, 2015.
- [7] A. G. T. V. M. Nandedkar, "Optimization of the Resistance Spot Welding Process of Galvanized Steel Sheet Using the Taguchi Method," pp. 1171–1176, 2014.
- [8] R. A. Shinde, B. T. Patil, and K. N. Joshi, "Optimization of Tube Hydroforming Process (without Axial Feed) by Using FEA Simulations," *Procedia Technol.*, vol. 23, pp. 398–405, 2016.