

Desain Perbaikan Kualitas dengan Pendekatan Taguchi sebagai Upaya Penurunan Produk Cacat

Sigit Pratama¹, Indung Sudarso²

^{1,2}Magister Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

E-mail: sigitpratama0793@gmail.com

ABSTRACT

The development in various industrial sectors shows that level of development of science and technology is growing. Intense competition has an impact on the company and to carry out quality control and product an quality improvement. Improving product quality is essential for the manufacturing or service industry on to survive in a competitive business world. Prima Alloy Steel Universal is a manufacturing industry company that produces passenger car wheels and export oriented ilght truck. The result of this study indicate that there are various types of defect in production. Based on the result of the research conducted, it was found that control factors had a significant effect. These factors are conveyor speed, oven temperature and paint viscosity. The result showed that based on taguchi, it could produce optimal products with the lowest defect rate. So for the black full colour process it is recommended to improve the level seting parameters carried out by the setup man with high level conditions to the conveyor speed 3000mm/min, the oven temperature is optimized at the low-level setting of 100-120°C and paint viscosity setting at a low level of 15 second.

Keywords: taguchi method, analysis of variance, signal to noise ratio, and loss function.

ABSTRAK

Pembangunan diberbagai sektor industri yang pesat menunjukkan tingkat perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi semakin berkembang. Persaingan ketat berdampak terhadap perusahaan dan untuk melakukan pengendalian kualitas dan peningkatan kualitas produk. Peningkatan kualitas produk merupakan hal yang esensial bagi industri manufaktur atau jasa supaya dapat bertahan didalam dunia bisnis yang kompetitif. PT. PT. Prima Alloy Steel Universal merupakan perusahaan industri manufaktur yang memproduksi velg mobil jenis passenger dan light truck berorientasi ekspor. Salah satu tahapan proses produksi yaitu proses finishing, pengecatan pada produk velg teridentifikasi terjadi cacat produk yang berpengaruh cukup besar dan disebabkan oleh berbagai macam faktor sehingga berdampak kerugian pada perusahaan. Hasil dari penelitian ini, menunjukan bahwa cacat produksi terjadi berbagai macam jenis cacat. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan bahwa ditemukanya faktor kontrol yang berpengaruh signifikan. Faktor tersebut adalah kecepatan konveyor, suhu oven, dan viskositas cat. Dari hasil penelitian menunjukkan berdasarkan taguchi dapat menghasilkan produk yang optimal dengan tingkat cacat produk paling rendah. Maka, untuk proses black full colour disarankan perbaikan parameter setting *level* yang dilakukan oleh set-up man dengan kondisi *high-level* terhadap faktor kecepatan konveyor (A) 3000 mm/menit, faktor suhu oven (B) dioptimalkan pada setting *low-level* 100-120°C dan viskositas cat (C) setting pada *low-level* yaitu 15 detik.

Kata kunci: metode taguchi, analisis varian, signal to noise ratios dan loss function.

PENDAHULUAN

PT. Prima Alloy Steel Universal merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang industri otomotif berdiri pada tanggal 20 Februari 1984 dan memulai kegiatan komersial pada tahun 1986. Kantor pusat dan pabriknya terletak di Jalan Muncul No.1 Gedangan, Sidoarjo, Jawa Timur 61254, Indonesia. PT. Prima Alloy Steel Universal, Tbk bergerak dalam bidang velg kendaraan bermotor roda empat dengan merk dagang panther, pcw, devino, akuza, incubus, ballistic offroad, menzari, cratusz wheels, dan vinicera yang terbuat dari bahan aluminium alloy yang umumnya dikenal sebagai velg racing atau alloy wheels.

Pembangunan diberbagai sektor industri yang pesat menunjukkan tingkat perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi semakin berkembang. Persaingan ketat berdampak terhadap

perusahaan dan untuk melakukan pengendalian kualitas dan peningkatan kualitas produk. Peningkatan kualitas produk merupakan hal yang esensial bagi perusahaan manufaktur untuk dapat bertahan didalam dunia bisnis yang sangat kompetitif [1].

Strategi pengendalian kualitas produk merupakan langkah proses yang baik dengan pengukuran kinerja dan matriks yang tepat untuk kegiatan peningkatan kualitas berkelanjutan [2]. Penelitian sebelumnya meneliti tentang kegagalan terkritis yang meliputi *waste defect*, *waste motion*, dan *transportation waste waiting* pada proses produksi *machining* dan *finishing*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah faktor-faktor penyebab terjadinya cacat produk dipengaruhi oleh parameter faktor kontrol terhadap *defect rate* yang terjadi.

TINJAUAN PUSTAKA

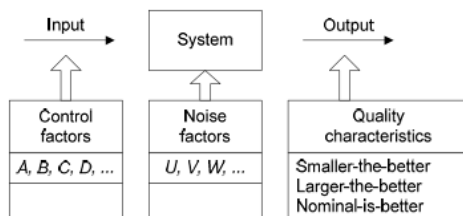
Kualitas memiliki banyak definisi berbeda-beda disebabkan karena pengertian kualitas dapat diimplementasikan ke berbagai bidang. Definisi secara konvensional, kualitas merupakan hal yang perlu dilakukan terhadap kombinasi karakteristik manufaktur dan rekayasa produk dan menentukan tingkat untuk memenuhi ekspektasi terhadap pelanggan seperti halnya performansi, keandalan, mudah dalam penggunaan estetika dan sebagainya[3].

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi asal Jepang pada tahun 1949 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi di Jepang. Metode Taguchi merupakan metode baru dalam bidang teknik bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan pada biaya seminimal mungkin[4]. Sehingga eksperimen pada kasus yang sama dapat memberikan hasil yang serupa walaupun dilakukan oleh peneliti yang berbeda. Taguchi menekankan bahwa variasi kualitas merupakan musuh utama di dalam rekayasa kualitas harus dilakukan untuk mengurangi variasi karakteristik kualitas.

Desain yang kuat (*robust design*) merupakan metode rekayasa untuk mengoptimalkan kondisi produk dan proses yang tidak sensitif terhadap berbagai penyebab variansi dan kondisi. Ada dua alat dasar yang digunakan untuk desain yang kuat, adalah: signal to noise ratios dan orthogonal array[5].

Taguchi desain parameter adalah sebuah desain yang digunakan untuk meningkatkan kualitas tanpa menghilangkan penyebab dari variabel, dan untuk membuat produk tahan terhadap faktor pengganggu. Secara pada umum, desain parameter memiliki dua karakteristik, yaitu :

1. Mengklasifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas ke dalam *control factor* (faktor terkendali) dan kedalam *noise factor* (faktor pengganggu yang tidak dapat dikendalikan).
2. Menggunakan dua matrik *orthogonal array*. Untuk faktor-faktor terkendali menggunakan sebuah OA yang disebut *inner array* dan *outer array*.



Gambar 1. Desain Parameter Taguchi[6]

Analisis varians digunakan didalam hasil penelitian dengan Taguchi pada umumnya adalah Analisis varians ANOVA dua arah. ANOVA dua arah adalah data percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan juga dua *level* atau lebih[7]. Tabel ANOVA dua arah terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, dan F-rasio yang ditabelkan sebagai berikut [8]:

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan	SS	MS	F hitung	Kontribusi
		Sum of Square	Mean of Square		
Faktor A	VA	SSA	MSA	MSA/MS e	SS.A/SST
Faktor B	VB	SSB	MSB	MSB/MS e	SS.B/SST
Interaksi AxB	VAxVB	SSAxB	MSAxB	MSAxB/MS e	SS.AxB/SST
Residual	V e	SS e	MS e		SS e/SST
Total	VT	SST			100%

Gambar 2. Perhitungan dengan ANOVA[9]

Analisa varians dua arah yaitu pengujian didasarkan pada pengamatan dua kriteria. Setiap kriteria dalam pengujian mempunyai masing-masing *level*. Tujuan pengujian Anova dua arah adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari hasil yang diuji terhadap hasil yang diinginkan[10].

Signal to Noise Ratios adalah suatu bilangan yang menggambarkan pada perbandingan antara signal dan juga noise dari suatu parameter kendali. Untuk menggunakan konsep ini pada desain eksperimental, maka nilai kekuatan signal dan noise akan digantikan dengan nilai estimasi rata-rata dan variasi [11].

Smaller the Better merupakan karakteristik yang terukur non-negatif dengan nilai ideal nol. Pencapaian pada nilai mendekati nol, maka kualitas akan semakin baik. Optimasi jenis ini biasan dipakai untuk mengoptimasi suatu cacat pada produk. Dapat juga digunakan untuk menentukan waktu produksi tercepat produktif[12]. Untuk menghitungnya menggunakan rumus, sebagai berikut:

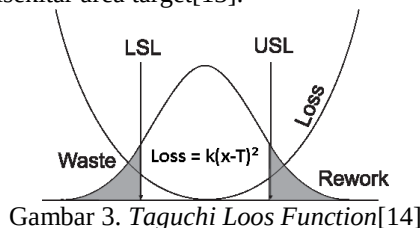
$$S/N \text{ Ratio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots\dots (1)$$

Di mana :

n = jumlah data

i = data respon pengukuran

Taguchi loss function secara umum merupakan fungsi dari kerugian yang ditanggung oleh masyarakat produsen dan ataupun konsumen akibat kualitas yang dihasilkan. *Loss function* digunakan dalam mengukur performansi karakteristik kualitas didalam pencapaian target, yaitu berapa besar adanya variasi disekitar area target[13].



Gambar 3. Taguchi Loos Function[14]

Ni Luh Putu Hariastuti et.al [15] dari hasil penelitian diperoleh *waste* terkritis yaitu *waste defect*, *waste motion*, dan *transportation* dan *waste waiting* pada proses produksi disc, rim, ring, assy, dan paint. Dalam penelitian ini jenis *waste defect* tertinggi adalah dimensi *part* tidak sesuai pada proses *expanding* yang terdapat pada proses produksi rim dengan jumlah *defect* 1900 unit. Dan *waste transportation* adalah jarak antara proses assy dengan proses paint sejauh 100 m.

METODE

Metode eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode faktorial. Eksperimen faktorial adalah salah satu metode yang banyak di gunakan dalam eksperimen yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produksi dan proses dalam waktu bersamaan sehingga dapat menekan biaya dan sumber daya seminim mungkin. Metode ini digunakan untuk formulasi layout

pengujian, untuk mengetahui kondisi optimal dari parameter faktor kontrol, dan untuk mengetahui performansi dari parameter terhadap proses produksi.

Untuk menyelesaikan penelitian ini, dilaksanakan di lini produksi finishing di PT. Prima Alloy Steel Universal, Tbk. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Januari sampai Desember tahun 2020. Bahan dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini, adalah produk uji yang digunakan adalah produk velg yang menjalani tahap proses finishing. Alat yang digunakan pada penelitian diantara lainnya, yaitu mesin pengecatan OMT 1 dan OMT 2 dan mesin pembersihan produk, oven dan pengering produk.



Gambar 4. Produk dengan Kondisi Proses Black Full Colour

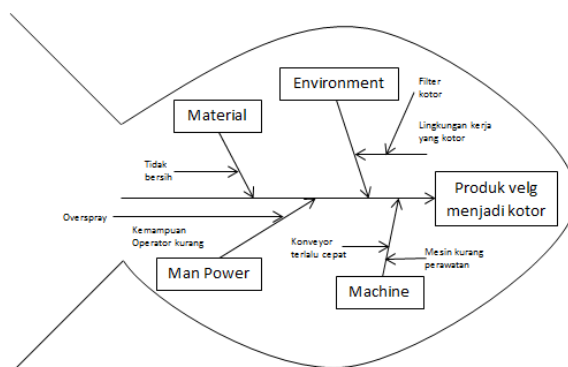
HASIL DAN PEMBAHASAN

PT. Prima Alloy Steel Universal, Tbk pada proses produksi di finishing dilakukan pengecatan produk jenis warna, yaitu black full colour. Pada tabel dibawah ini menunjukkan tingkat *defect* per jenis warna di lini produksi finishing periode tahun 2020, berikut :

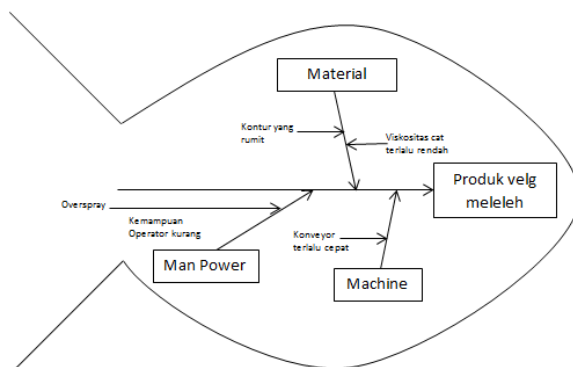
Tabel 1. Tingkat *Defect* Periode Tahun 2020

Jenis Warna	Jumlah <i>Loading</i>	Jumlah <i>Defect</i>	% <i>Defect</i>
<i>Black Colour</i>	254.035	17.910	7.05%
<i>Toon Colour</i>	231.945	14.915	6.43%
<i>Milling Colour</i>	66.270	1.213	1.83%

Hasil *brainstorming* ini dipadu dengan analisa sebab akibat atau *cause and effect analysis* (CEA) menggunakan *fishbone diagram* setiap jenis cacat produk tersebut. Gambar-gambar dibawah ini menjelaskan masing-masing dari cacat produk yang teridentifikasi, sebagai berikut :



Gambar 5. *Fishbone diagram defect kotor*



Gambar 6. Fishbone diagram defect meleleh

Dari hasil CEA di atas, menunjukkan bahwa tidak semua faktor penyebab jenis cacat produk dapat dikontrol, misalnya untuk jenis cacat produk gores dasar amplas, debu, dan menyerap lebih banyak terjadi dikarenakan sudah cacat awal. Penelitian ini, fokus pada jenis cacat produk yang mempunyai faktor terkontrol. Berikut adalah tabel faktor terkontrol dari jenis cacat produk :

Tabel 2. Faktor Kontrol dari Jenis Cacat Produk

JENIS CACAT PRODUK	FAKTOR KONTROL YANG MEMPENGARUHI
Kotor	Kecepatan Konveyor
	Tekanan Angin
	Tekanan Cat
Meleleh	Kecepatan Konveyor
	Suhu Oven
	Tekanan Angin
	Tekanan Cat
Tipis	Viskositas Cat
	Kecepatan Konveyor
Minyak	Kecepatan Konveyor
Bintik Air	Kecepatan Konveyor
	Suhu Oven
Orange Peel	Suhu Oven
	Tekanan Angin
	Tekanan Cat
	Viskositas Cat

Dari hasil *brainstorming* dan *cause effect analysis* di atas, ditemukan ada 5 (lima) faktor terkontrol yang memungkinkan untuk digunakan dalam penelitian ini, yaitu: faktor kecepatan konveyor, suhu oven, tekanan angin, tekanan cat, dan viskositas cat. Berdasarkan pertimbangan tim dan manajemen maka dipilihlah 3 dari 5 faktor terkontrol yang diketahui untuk dilakukan pengujian meliputi, yaitu : konveyor, suhu oven, dan viskositas cat. Dalam penelitian ini hanya dilakukan dengan dua *level*, sebagai berikut.

Tabel 3. Faktor Terkontrol untuk Pengujian

Faktor Kontrol	Label	Level 1	Level 2
Kecepatan Konveyor	A	2800 mm/menit	3000 mm/menit
Suhu Oven	B	100-120°C	125-150°C
Viskositas Cat	C	15 detik	20 detik

Alat yang digunakan pada penelitian diantara lainnya, yaitu :

1. Kecepatan Konveyor x Suhu Oven (AxB)
2. Suhu Oven x Viskositas Cat (BxC)
3. Kecepatan Konveyor x Viskositas Cat (AxC)

Di dalam pengujian faktor dan interaksi ke dalam array pada penelitian ini, setelah menentukan faktor dan interaksi yang akan digunakan pada penelitian ini maka selanjutnya akan dilakukan pemilihan disain orthogonal array. Layout eksperimen dapat dilihat pada tabel di bawah ini, sebagai berikut.

Tabel 4. Faktor Terkontrol untuk Pengujian

Standard	Random	1	2	3	4	5	6	Defect Rate (%)	
		A	B	AB	C	AC	BC		
1	2	1	1	1	1	1	1	5.22	6.01
2	1	1	1	1	2	2	2	5.43	5.12
3	4	1	2	2	1	1	2	4.79	4.93
4	3	1	2	2	2	2	1	6.12	6.26
5	6	2	1	2	1	2	1	5.71	5.13
6	5	2	1	2	2	1	2	4.30	4.90
7	8	2	2	1	1	2	2	4.57	5.99
8	7	2	2	1	2	1	1	5.25	6.07

Layout eksperimen yang disajikan pada Tabel.4. menunjukkan bahwa semua faktor dan interaksi akan dilaksanakan secara mengulang dua kali supaya didapatkan variasi. Angka 1 menunjukkan bahwa faktor di setting pada keadaan *low-level* di mana parameter kecepatan konveyor adalah 2800 mm/menit, sedang suhu oven 100-120°C, dan viskositas cat 15 detik. Angka 2 menunjukkan bahwa faktor disetting dalam keadaan *high-level* di mana parameter kecepatan konveyor adalah 3000 mm/menit, suhu oven 125-150°C, dan viskositas cat 20 detik.

Tabel 5. Main Effect Analysis

Column	Label	Factor	Level 1 Average (%)	Level 2 Average (%)	Difference (2) - (1)
1	A	Kecepatan Konveyor	5.390	4.958	-0.433
2	B	Suhu Oven	5.165	5.183	0.018
3	AxB	Interaksi A x B	5.118	5.230	0.113
4	C	Viskositas Cat	5.073	5.275	0.203
5	AxC	Interaksi A x C	4.890	5.458	0.568
6	BxC	Interaksi B x C	5.575	4.773	-0.803

Hasil dari penelitian dilakukan perhitungan terhadap rata-rata *defect rate* untuk setiap *level* faktor dan interaksi serta perbedaan di antara keduanya. Data *main effect analysis* pada proses black full colour, sebagai berikut.

Dari data Tabel 5 menginterpretasikan bahwa interaksi BxC diantara suhu oven dan viskositas cat menunjukkan tidak berbeda signifikan dengan nilai angka 0.143%, diikuti oleh *level* A kecepatan konveyor dengan nilai angkanya -0.933%. Angka minus menunjukkan bahwa tingkat cacat ini, berbanding terbalik dengan *level* dari faktor yang bersangkutan, semakin tingginya parameter faktor tersebut dilakukan setting maka tingkatan cacat akan semakin kecil.

Perhitungan analisis varian dari *defect rate* experiment pada setiap faktor dan interaksi perlu diketahui pengaruh dari parameter kendali terhadap proses. Hasil dari analysis of variance pada proses black full colour, sebagai berikut.

Tabel 6. Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	0.12005	7.11%	0.12005	0.12005	4.35	0.285
B	1	0.14580	8.63%	0.14580	0.14580	5.28	0.261
A x B	1	0.07220	4.28%	0.07220	0.07220	2.61	0.353
C	1	0.03781	2.24%	0.03781	0.03781	1.37	0.450
A x C	1	0.25561	15.14%	0.25561	0.25561	9.26	0.202
B x C	1	1.02961	60.97%	1.02961	1.02961	37.29	0.103
Error	1	0.02761	1.64%	0.02761	0.02761		
Total	7	1.68870	100.00%				

Dari Tabel 6 di atas, disimpulkan bahwa faktor dan interaksi tersebut memiliki pengaruh yang signifikan. Dari hasil perbandingan tersebut, disimpulkan ada 3 faktor dan interaksi memiliki efek cukup besar terhadap tingkat cacat di lini produksi finishing PT. Prima Alloy Steel Universal, Tbk yaitu: berurutan dari nilai terbesar interaksi antara suhu oven dengan viskositas cat (BxC) dengan p-value 0.103, interaksi kecepatan konveyor dengan viskositas cat (AxC) dengan p-value 0,202, dan faktor suhu oven (B) dengan p-value 0,261.



Gambar 7. Main Effect Plot for Means

Dari Gambar 7 diketahui grafik *main effect plot* untuk faktor suhu (B) bahwa *level* 1 dari faktor suhu oven *low-level* dengan suhu 100-120°C berada di titik paling rendah jika dibandingkan dengan suhu oven di set pada *high-level*.

Berdasarkan hasil dari S/N Ratios *Black Full Colour*, sebagai berikut :

Tabel 7. *Signal to Noise Ratios*

Experiments No.	S/N RATIO
2	-14.9870
1	-14.4444
4	-13.7327
3	-15.8338
6	-14.6800
5	-13.2552
8	-14.4527
7	-15.0563

Pada tabel berikut ini, diberikan nilai *signal to noise ratios* masing-masing faktor pada *low-level* (level 1) dan *high-level* (level 2) dan juga efek dari faktor.

Tabel 8. Average Factor *Level S/N Ratios*

Level	A	B	C
1	-14.75	-14.34	-14.46
2	-14.36	-14.77	-14.65
Effect	0.39	0.43	0.18
Rank	2	1	3

Pada Tabel 8 dapat kita lihat bahwa faktor suhu oven (B) mempunyai pengaruh terbesar didalam munculnya variasi, disusul dengan faktor kecepatan konveyor (A) dan viskositas cat (C) ditandai dengan effect factors *level* tersebut.



Gambar 8. *Main Effect Plot for S/N Ratios*

Dari Gambar.8. menunjukkan bahwa nilai S/N ratios yang terjadi untuk ketiga faktor adalah faktor kecepatan konveyor (A) pada *high-level* dengan 3000 mm/menit, faktor suhu oven (B) di set *low-level* dengan suhu 100-120°C, dan faktor viskositas cat (C) pada set *low-level* 15 detik.

Taguchi mendefinisikan *loss function* sebagai deviasi kuantitas proporsi dari *target quality characteristics*. Pada tingkat deviasi nol, kinerja adalah sesuai dengan target kerugian akan sama

dengan nol. Pada awal penelitian, diperoleh data *current condition before experiment* dari tingkat *defect* dengan 16 kali percobaan dalam kondisi faktor setting berbeda.

Dari data, dapat diketahui rata-rata *defect* dengan *optimal control factor setting after experiment* mengalami peningkatan sebesar 0.202% dengan standar deviasi 0,003234774 dan varian 0,00014959, selain itu juga mengalami kenaikan S/N Ratio sebesar 0,12 poin yang berarti proses semakin baik.

Dari data dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan optimal setting faktor kontrol *after experiment*, *loss/unit* berkurang sebesar Rp. 297,20,- dibandingkan dengan keadaan sebelumnya. Estimasi jumlah produksi rata-rata 46.021 perbulan, maka perusahaan diestimasikan akan menghemat pengeluaran sebesar Rp.13.677.440,- per-bulan atau sekitar Rp.164.129.290,- pertahunnya. Berdasarkan selisih estimasi dari Taguchi loss function dengan keadaan sebelum eksperimen (*before experiment*) dengan keadaan sesudah menggunakan *optimal control factor setting (after experiment)*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa data kekasaran permukaan analisis varians dapat disimpulkan:

1. Jenis-jenis cacat produksi yang terjadi memiliki pengaruh besar terhadap proses produksi di lini produksi finishing. Tingkat cacat produk meliputi :
 - a. Kotor yaitu cacat terjadi karena produk yang tidak bersih ketika di lap dan masih terdapat kotoran sehingga kotoran tersebut ikut mengalami pengecatan, kotor juga dapat disebabkan karena faktor skill operator kurang sehingga menyebabkan terjadinya turbulensi penyemprotan.
 - b. Meleleh yaitu cacat yang terjadi dikarenakan cat yang dalam keadaan masih basah, mengumpul dan meluber ke sisi lainnya.
2. Diketahui bahwa faktor kontrol pada proses produksi *Black Full Colour* ditemukan bahwa faktor suhu oven (B), interaksi di antara suhu oven dan viskositas cat (BxC), dan interaksi kecepatan konveyor dengan viskositas cat (AxC) mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap tingkat cacat produksi di finishing.
3. Berdasarkan metode Taguchi untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan tingkat cacat produk paling rendah dan bervariasi minimum. Maka, faktor dilakukan setting pada faktor kecepatan konveyor (A) pada tingkat *setting high-level* 3000 mm/menit, faktor suhu oven (B) dioptimalkan pada *setting low-level* 100-120°C, dan faktor viskositas cat (C) pada *setting low-level* 15 detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan oleh penulis kepada Rektor ITATS dan Tim akademik ITATS yang telah memberikan fasilitas dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antony, Fiju and Antony, and Frenie F. (2001). Teaching the Taguchi Method to Industrial Engineers, Journal of MCB University Press. Vol. 50 No. 4. Pp 141-149. ISSN 0043-8022.
- [2] Anthony, J. and Kaye, M. (1999). *Experimental Quality: A Strategic Approach to Achieve and Improve Quality*. Norwall: Kluwer Academic.
- [3] Anthony, Jiju et al. (2006). An application of Taguchi method of experimental design for new product design and development process. *Assembly Automation*. 26, 1, ABI/UNIFORM Global pg. 18.
- [4] Jacobs, R, F., Chase, R, B., & Aquilano, N, J. 2009. *Operations and Supply Management*. New York: The McGraw-Hill

- [5] Montgomery, D. C. (1999). Experimental design for product and process design and development. *Journal of the Royal Statistical Society D*. Vol. 48 No. 2. pp 131-139
- [6] Montgomery, D. C. (2005). *Design and Analysis of Experiments* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- [7] Park, S. H. 1996. *Robust design and Analysis for Quality Engineering*. London: Chapman & Hall.
- [8] Ross, P. J. (1988). *Taguchi Technique for Quality Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- [9] Roy, Ranjit K. (1990). *A Primer on The Taguchi Method*. Michigan: Dearborn.
- [10] Roy, Ranjit K. (2001). *Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement*. New York: John Wiley & Sons.
- [11] Shudakar, P. R. (1995, January). An Introduction to *quality* improvement through Taguchi methods. *Industrial Engineering*. 27, 1, ABI/INFORM Global pg. 53
- [12] Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering*. Tokyo: Asian Productivity Organization.
- [13] Taguchi, G, et al. (1999). *Robust Engineering*. New York: McGraw-Hill..