

Pengaruh Suhu Dan Waktu Tinggal Terhadap Kecenderungan Menguning Pada Proses Produksi Alumunium Fasad

Sukram⁽¹⁾, Sutikno⁽²⁾

Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Gempol
sukram.pati@gmail.com⁽¹⁾

Abstrak

Pengecatan menggunakan cat bubuk merupakan salah satu teknik perlindungan terhadap korosi yang berkembang secara pesat. Cat bubuk memiliki nilai estetika mendekati cat cair serta daya tahan dan utilisasi yang relative lebih baik dibanding cat cair. Proses pematangan cat bubuk yang hanya dilakukan dengan proses pemanasan pada suhu tertentu dan rentang waktu tertentu. Standard proses pematangan dikenal dengan kurva pematangan (*curing map*). Perbedaan suhu dan waktu terhadap rentang nilai standard menimbulkan resiko terjadinya perubahan warna khususnya pada warna putih (terang). Oleh sebab itu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu pemanasan terhadap kecenderungan menguning pada cat bubuk warna putih. Pengukuran warna dilakukan dengan menggunakan *colorimeter* dalam satuan *CIE Lab*. Nilai *b* pada *CIE lab* menunjukkan kecenderungan warna kekuningan atau kebiruan. Suhu dan waktu pemanasan merupakan variabel penelitian yang faktornya ditentukan 5^oC dan 5 menit diluar kurva pematangan.

Kata kunci: cat bubuk, pematangan, suhu, warna.

Abstract

Painting using paint powder is one of the techniques of protection against corrosion are evolving rapidly. Powder paints have aesthetic value approaching liquid paint as well as durability and relative utilization is better than liquid paint. The process of maturation of the paint powder that is only done with the process of warming at a certain temperature and a certain span of time. Standard maturation process known as maturation curve (*curing folder*). The difference in temperature and time against standard value ranges of risk occurrence of color change especially in white color (light). Therefore, do the research to find out the influence of temperature and time of warming up against the tendency of yellowing in white powder paint. Colour measurement is performed using a colorimeter in units of *CIE Lab*. Value *b* in *CIE lab* color trend show the yellowish or bluish. Temperature and time of warming up is the variable factor research determined 5^o C and 5 minutes outside curves ripening.

Keywords: paint powder, maturation, temperature, color.

Pendahuluan

Pertumbuhan aluminium ekstruder di Indonesia sangat pesat khususnya di Jawa Timur. Tingginya permintaan pasar untuk produk aluminium sebagai material fasad pengganti kayu memunculkan industri tersebut. Aluminium merupakan material utama pengganti kayu yang digunakan dalam industri mebel maupun bahan bangunan. Aluminium memiliki keunggulan dalam hal tingkat kepresisian yang baik, penampilan yang artistik, mampu meminimalkan celah dan kemudahan proses fabrikasi (Kumar,

2010). Pengecatan dan anodizing merupakan dua teknik pelapisan yang digunakan dalam produksi material fasad. Pengecatan memiliki nilai estetika yang lebih tinggi yang ditandai dengan variasi warna dan tekstur yang lebih banyak dibanding anodizing.

Aplikasi pengecatan menggunakan cat bubuk (*powder coating*) berkembang pesat dalam beberapa decade terakhir. Cat bubuk memiliki keunggulan dalam hal minimnya tingkat polusi terhadap lingkungan sekitar dan dapat cat yang tidak menempel dapat digunakan kembali (*recycle system*). Aplikasi cat bubuk banyak digunakan untuk komponen kendaraan bermotor atau mesin, aluminium ekstruder sebagai bahan untuk fasad, serta berbagai keperluan rumah tangga. Kualitas hasil pengecatan cat bubuk belum memiliki standar nasional sehingga masih mengacu pada standar yang berlaku di Eropa (*qualicoat*) dan Amerika

Kualitas hasil proses pengecatan dideteksi dari kekuatan dan tampilan. Faktor estetika atau keindahan terkait dengan tampilan lapisan cat yang memiliki karakter kualitas yang kritis (*Critical to Quality/CTQ*) Perbedaan warna (ΔE) dan kilap lapisan cat atau biasa disebut kilap (*gloss*). Proses Pematangan dan jenis cat sangat berpengaruh terhadap dua *CTQ* tersebut. Warna putih merupakan warna yang sangat mudah mengalami perubahan warna, apalagi jika memiliki tingkat kilap yang tinggi. Warna putih cenderung menjadi kekuningan jika proses pematangan tidak tepat atau bereaksi dengan udara hasil pembakaran tidak sempurna. Salah satu warna yang banyak digunakan di proses produksi pelapisan aluminium ekstruder adalah warna *beige pure white 01 (PW-01)*. Karakter warna *PW-01* adalah sensitif terhadap panas dan memiliki kilap sedang, sehingga berpotensi menguning dan terjadi penurunan kilap pada waktu proses pematangan. Kecenderungan menguning pada cat bubuk dapat diukur dengan menggunakan *colorimeter* dalam satuan *CIE Lab* yang memiliki nilai spesifikasi maksimal 0,5. Pengukuran kilap menggunakan *glossmeter* dan memiliki spesifikasi 77 ± 7 untuk warna *PW-01*.

Proses pematangan dapat dilakukan dengan berbagai metode pemanasan. Sumber panas dalam oven dapat diperoleh dari pemanas elektrik maupun pembakaran bahan bakar. Pemanasan elektrik dan pembakaran tidak langsung memiliki keunggulan dalam hal minimnya kontaminasi gas buang hasil pembakaran sehingga dapat mencegah terjadinya reaksi cat dengan gas buang. Penggunaan pemanas listrik efektif untuk skala laboratorium atau produksi dalam jumlah kecil, sedangkan sistem pemanasan dengan sirkulasi gas panas efektif untuk produksi kontinyu dalam skala besar. Industri menengah dan kecil pada umumnya menggunakan oven dengan pembakaran langsung baik untuk sistem batch maupun kontinyu sehingga potensi terjadinya cat menguning lebih besar.

Penelitian tentang optimasi ΔE dan kilap dilakukan untuk mengurangi kegagalan proses pengecatan. Fatemi dkk. Melakukan penelitian tentang optimasi kilap pada cat untuk marka jalan dengan faktor input formulasi dan pigmen pada 2006. Optimasi ΔE dilakukan oleh Mirabedini dkk. (2012) dengan faktor input formulasi. Penelitian tersebut menggunakan metode *mixture* karena terkait dengan faktor input formulasi. Bazrafshan dkk. (2015) mengoptimasi ΔE pada tinta percetakan dengan metode permukaan respon. Pada tahun 2016 Boby dkk. meneliti perubahan warna cat bubuk pada tunnel oven.

Metode Penelitian

Perancangan percobaan menggunakan *Central Composite Design (CCD)* yang terdiri dari tiga respon yang dipengaruhi oleh dua faktor. Respon dalam percobaan ini adalah *b*, ΔE , dan kilap, sedangkan faktor meliputi suhu oven dan waktu proses. Penentuan level dari faktor mengacu pada waktu dan suhu pematangan standar yaitu 180°C selama 20 menit atau 200°C selama 10 menit. Level minimum dan maksimum ditentukan dengan memberikan penyimpangan 5°C untuk suhu dan 5 menit untuk waktu sehingga menghasilkan level faktor seperti table 1 dibawah ini. Penyimpangan dimaksudkan untuk mendeteksi adanya perubahan warna yang terjadi jika pematangan dilakukan diluar kurva standar pematangan.

Warna memiliki fungsi estetika dalam produksi pelapisan logam dengan senyawa organik. Warna yang terbentuk oleh lapisan cat sangat dipengaruhi oleh pigmen (Dualert dkk., 2011). Warna tercipta dari interaksi antara cahaya dan pigmen yang terdapat dalam cat. Berbagai ragam warna yang dipancarkan cahaya akan diserap dan dipantulkan oleh pigmen sehingga terdeteksi oleh mata kita

sebagai warna tertentu. Oleh sebab itu pengukuran warna paling sederhana adalah membandingkan secara visual contoh warna terhadap warna standar pada berbagai sudut pencahayaan. Teknik ini tidak mampu melakukan deteksi secara kuantitatif, sehingga perlu digunakan *colorimeter* digunakan untuk meningkatkan keakurasian pengukuran warna. Pada kondisi aktual sangat sulit untuk menghasilkan warna yang benar-benar sama. Inspeksi secara visual tidak mampu mendeteksi sedikit perbedaan warna antar warna sejenis, sehingga dimungkinkan adanya toleransi ΔE pada *colorimeter* sebesar 0,5 (Talbert, 1998).

Pengukuran warna pada prinsipnya mengukur L , a dan b dengan keterangan sebagai berikut: (Talbert, 2008)

- L menyatakan tingkat kecerahan (gelap (hitam) = 0 dan cerah (putih) = 100).
- a menyatakan kecenderungan kemerahan hingga kehijauan (merah = +60 dan hijau = -60).
- b menunjukkan tingkat kekuningan hingga kebiruan (kuning = +60 dan biru = -60).

Perbedaan warna dinyatakan dalam ΔE yang dihitung berdasarkan persamaan 2.1 berikut ini.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \dots\dots\dots(1)$$

Tiga satuan pengukuran ΔE yang sering digunakan adalah *Hunter Lab*, *Commission Internationale de El Clairage (CIE) Lab* dan *Just Noticeable different (JND)*. Satu *JND* sama dengan sepertiga *Hunter Lab*, sama dengan setengah *CIE Lab* (Talbert, 2008).

Metode Permukaan Respon

Metode statistika dan matematika sering digunakan untuk mempelajari hubungan antara beberapa faktor terhadap respon yang bersifat kuantitatif adalah metode permukaan respon (*Response Surface Methodology*). Penggunaan metode permukaan respon pada umumnya bertujuan untuk pemetaan respon, optimasi respon dan pemilihan kondisi operasi. Tahapan perancangan percobaan dengan metode permukaan respon menurut Iriawan dan Astuti (2006), serta Montgomery (2009) adalah mengidentifikasi masalah, menentukan respon, mengidentifikasi faktor dan menentukan level, perancangan percobaan, melaksanakan percobaan, analisis statistik hasil percobaan, serta kesimpulan dan rekomendasi.

Data hasil percobaan dianalisis secara statistik untuk menyusun model regresi beserta pengujian modelnya serta optimasi untuk menghasilkan seting terbaik dengan menggunakan fungsi *desirability*. Regresi orde dua yang bersifat lebih fleksibel dibanding regresi orde satu diharapkan mampu menyelesaikan kasus yang tidak dapat diselesaikan dengan menggunakan orde satu. (Wu dan Hamada, 2000). Persamaan regresi orde dua adalah sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \dots\dots\dots(2)$$

y adalah respon atau variabel tidak bebas, β_0 adalah titik potong kurva (*intersept*), β_i adalah koefisien regresi dari x_i , β_{ii} adalah koefisien regresi dari x_i^2 , β_{ij} adalah koefisien regresi dari interaksi antara x_i dan x_{ij} , x_i adalah variabel bebas ke i , ε adalah *error*. Pemodelan yang dihasilkan harus diuji dengan menggunakan uji kecukupan model, uji koefisien regresi, dan uji asumsi residual.

Persamaan regresi hasil permodelan digunakan sebagai dasar optimasi dengan menggunakan fungsi *desirability*. Fungsi tujuan dari optimasi dengan menggunakan fungsi *desirability* adalah memaksimalkan nilai *desirability* (D) yang merupakan fungsi dari *desirability* individu (d) sesuai dengan persamaan 3.

$$D = (d_{\Delta E} \times d_{\Delta \Delta E} \times d_{kilap})^{1/3} \dots\dots\dots(3)$$

Respon ΔE dan $\Delta \Delta E$ bersifat semakin kecil semakin baik sehingga d_i dihitung dengan persamaan 4. Nilai $d_i = 1$ jika $\hat{y}_i < T_i$ dan $d_i = 0$ jika $\hat{y}_i > U_i$.

$$d_i = \left(\frac{U_i - \hat{y}_i}{U_i - T_i} \right)^{\alpha_i} \quad T_i \leq \hat{y}_i \leq U_i \dots\dots\dots(4)$$

Kilap bersifat nominal terbaik sehingga perhitungan nilai d_i menggunakan persamaan 5.

$$d_i = \left(\frac{\hat{y}_i - L_i}{T_i - L_i} \right)^{\alpha} \quad L_i \leq \hat{y}_i \leq T_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$d_i = \left(\frac{U_i - \hat{y}_i}{U_i - T_i} \right)^{\alpha} \quad T_i \leq \hat{y}_i \leq U_i$$

$$d_i = 0 \quad \hat{y}_i < L_i \text{ atau } \hat{y}_i > U_i$$

L_i adalah batas bawah repon ke i , T_i adalah nilai target respon ke i , U_i adalah batas atas respon ke i dan \hat{y}_i adalah nilai taksiran respon ke i .

Tabel 1 Tabel Penentuan Level Faktor

No	Parameter Proses	Penentuan Level	
		Bawah	Atas
1	Suhu oven (x_1)	175 ⁰ C	205 ⁰ C
2	Waktu (x_2)	5 menit	25 menit

Variabel bebas diubah dalam level pengkodean faktor untuk melakukan perhitungan matematis sesuai dengan persamaan 6 berikut ini (Wu dkk., 2000).

$$x_i = \frac{x_{real} - (x_{max} + x_{min})/2}{(x_{max} - x_{min})/2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Percobaan dilakukan sebanyak 13 kali sesuai hasil perancangan percobaan dari program *minitab 16* yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Rancangan Percobaan *Central Composite Design*

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Suhu	Waktu
7	1	-1	1	190	0.9
6	2	-1	1	211	15.0
9	3	0	1	190	15.0
13	4	0	1	190	15.0
8	5	-1	1	190	29.1
3	6	1	1	175	25.0
12	7	0	1	190	15.0
4	8	1	1	205	25.0
5	9	-1	1	169	15.0
10	10	0	1	190	15.0
1	11	1	1	175	5.0
2	12	1	1	205	5.0
11	13	0	1	190	15.0

Hasil dan Pembahasan

Hasil Percobaan

Data hasil percobaan pengecatan cat bubuk warna PW-01 pada plat aluminium dengan ketebalan 1.1 mm berupa nilai *Lab. ΔE* dihitung dengan menggunakan persamaan 6. Hasil percobaan ditampilkan pada tabel 3 dibawah ini

Tabel 3 Data Hasil Percobaan

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Suhu	Waktu	L	a	B	ΔE
7	1	-1	1	190	0,9	93,51	1,07	9.17	1.11
6	2	-1	1	211	15,0	89,01	1,02	9.81	3.46
9	3	0	1	190	15,0	92,61	1,06	9.30	0.21
13	4	0	1	190	15,0	92,14	1,07	9.29	0.27
8	5	-1	1	190	29,1	91,52	1,05	9.66	0.93
3	6	1	1	175	25,0	92,37	1,03	9.25	0.03
12	7	0	1	190	15,0	92,65	1,04	9.28	0.25
4	8	1	1	205	25,0	89,61	1,07	9.75	2.82
5	9	-1	1	169	15,0	92,7	1,03	9.27	0.30
10	10	0	1	190	15,0	92,11	1,05	9.29	0.29
1	11	1	1	175	5,0	92,86	1,05	9.21	0.46
2	12	1	1	205	5,0	92,19	1,03	9.28	0.21
11	13	0	1	190	15,0	92,68	1,06	9.17	0.29

Analisis Stasitik Hasil Percobaan

Pengolahan data hasil percobaan menggunakan minitab 16 memperoleh hasil analisis variansi (ANOVA) untuk menguji koefisien regresi secara serentak yang ditampilkan pada Tabel 4. Pengujian secara serentak menunjukkan bahwa persamaan regresi menunjukkan bahwa interaksi antar faktor tidak berpengaruh signifikan dalam pemodelan ΔE dan kilap. Secara umum keseluruhan komponen regresi, linier kuadrat dan interaksi erpengaruh secara statistik terhadap respon karena seluruh nilai $P > 0,05$. Nilai lack of fit pada model untuk ΔE memiliki nilai $P < 0,05$ sehingga hipotesis tidak terjadi lack off fit tidak dapat diterima. Dengan demikian permodelan untuk ΔE tidak memiliki kecukupan model.

Tabel 4 ANAVA

Term	P untuk L	P untuk a	P untuk b	P untuk ΔE
Regresi	0,000	0,025	0,000	0,003
Linier	0,001	0,007	0,017	0,011
Kuadrat	0,001	0,007	0,012	0,013
Interaksi	0,015	0,029	0,037	0,022
Lack of fit	0,305	0,517	0,103	0,000

Koefisien determinasi R^2 untuk respon L yang ditampilkan pada Tabel 5 bernilai lebih dari 96,13% sehingga 96,13% gelap terangnya warna dipengaruhi oleh shu dan waktu pemanasan sesuai permodelan yang dihasilkan. Kecenderungan menguning 89,95% dapat digambarkan oleh permodelan yang dihasilkan, sedangkan kecenderungan warna merah dan biru hanya mampu doambarkan sebanyak 71,49%. Meskipun permodelan untuk ΔE memiliki *lack off fit*, akan tetapi kondisi yang mampu digambarkan oleh model sebanyak 84%.

Tabel 5 Perkiraan Nilai Koefisien Regresi

Keterangan	L		A		b		ΔE	
	Koefisien	Nilai P	Koefisien	Nilai P	Koefisien	Nilai P	Koefisien	Nilai P
Konstanta	-27,9222	0,227	-1,1064	0,146	25,7643	0,001	104,190	0,012
X ₁	1,2988	0,000	0,0242	0,010	-0,1761	0,012	-1,078	0,013
X ₂	0,5883	0,030	-0,0191	0,028	-0,1211	0,057	-0,941	0,023
X ₁ X ₁	-0,0035	0,000	-0,0001	0,007	0,0005	0,012	0,003	0,013

X_2X_2								
X_1X_2	-0,0035	0,015	0,0001	0,029	0,0007	0,037	0,005	0,020
R^2	96,13%		71,49%		89,95%		84,00%	

Perhitungan koefisien pada fungsi kuadratik untuk nilai interaksi antara waktu dan waktu memiliki nilai $P > 0,5$ sehingga secara statistik tidak berpengaruh signifikan terhadap model seperti yang ditampilkan pada table 5. Kondisi abnormal terjadi pada respon b dimana faktor waktu memiliki nilai $P > 0,5$ sehingga untuk tingkat keyakinan 95% maka secara statistik faktor waktu dianggap tidak berpengaruh secara signifikan. Tabel 6 menunjukkan perhitungan jika faktor waktu dihilangkan (hanya faktor suhu yang berpengaruh signifikan) maka akan menghasilkan persamaan linier orde satu yang menghasilkan nilai R^2 37,97% dan *Lack off fit* 0,501. Meskipun secara statistik kecukupan model terpenuhi akan tetapi hanya mampu menjelaskan 37,97% dari kondisi sehingga lebih banyak dipengaruhi oleh faktor lain selain suhu. Oleh sebab itu faktor waktu tetap berpengaruh signifikan pada kecenderungan menguning untuk tingkat keyakinan 90% ($\alpha=0,1$) yang ditunjukkan dengan nilai P untuk *lack off fit* sebesar 0,103 ($P > 0,1$). Permodelan yang dihasilkan lebih mampu menggambarkan hubungan antara faktor suhu dan waktu terhadap kecenderungan menguning.

Tabel 6 Perbandingan Permodelan respon b

Keterangan	B		b (dihilangkan waktu)	
	Koefisien	Nilai P	Koefisien	Nilai P
Konstanta	25,7643	0,001	75,219	0,001
X_1	-0,1761	0,012	0,0111	0,012
X_2	-0,1211	0,057		
X_1X_1	0,0005	0,012		
X_1X_2	0,0007	0,037		
R^2	89,95%		37,97%	
$P_{Lack\ off\ fit}$	0,103		0,501	

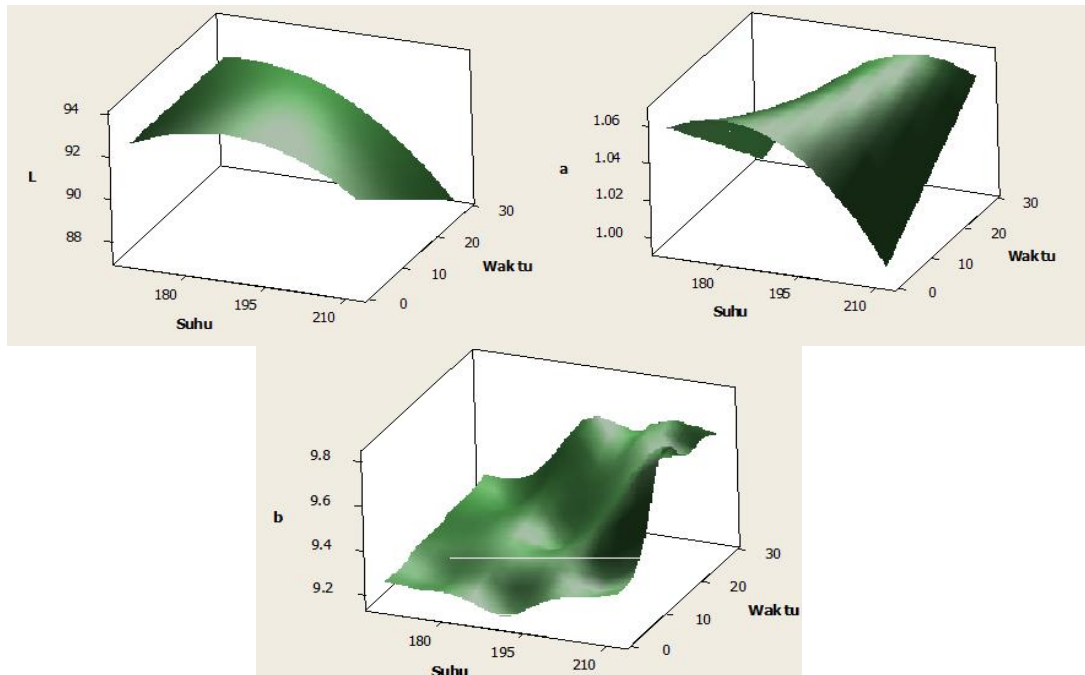
Penyusunan Model Matematis

Berdasarkan hasil analisis statistik diatas maka dapat disusun model matematis yang menunjukkan pengaruh suhu (X_1), waktu (X_2) terhadap L (Y_L), a (Y_a) dan b (Y_b) dalam persamaan berikut ini.

$$Y_L = -27,9722 + 1,2988X_1 + 0,5833X_2 - 0,0035(X_1)^2 - 0,0035X_1X_2 \dots\dots\dots (7)$$

$$Y_a = -1,1064 + 0,0242X_1 - 1,091X_2 - 0,0001(X_1)^2 + 0,0001X_1X_2 \dots\dots\dots (8)$$

$$Y_b = 25,7463 - 1,761X_1 - 0,1211X_2 + 0,0005(X_1)^2 + 0,0007X_1X_2 \dots\dots\dots (10)$$



Gambar 1 *Surface plot* untuk ΔE dengan kecepatan konveyor konstan

Gambar 1 menampilkan hasil plotting interaksi antara suhu dan waktu terhadap nilai *Lab*. Grafik menunjukkan peningkatan suhu dan waktu akan meningkatkan nilai *b* dan menurunkan nilai *L*. Dengan demikian peningkatan suhu dan waktu akan cenderung menjadi menguning dan warna lebih gelap. Peningkatan nilai *b* berarti warna cenderung menguning, sedangkan penurunan nilai *L* menunjukkan terjadi penurunan kecerahan warna.

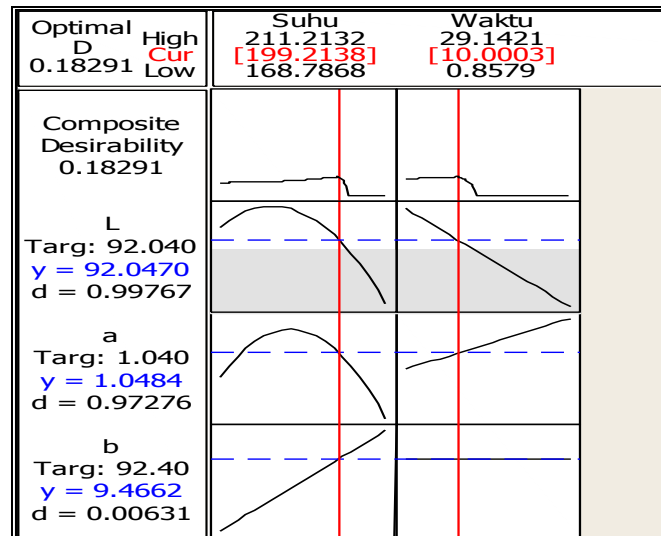
Optimasi Respon

Optimasi respon untuk mencari nilai optimal pada ketiga respon *Lab* tersebut digunakan fungsi *desirability*. Penentuan batasan nilai didasarkan pada ketentuan perbedaan warna tidak terdeteksi oleh pandangan mata jika memiliki selisih 0,3. Nilai target ditentukan dari pengukuran hasil sample panel standar dari vendor yang memiliki nilai $L = 92,04$, $a = 1,04$ dan $b = 9,24$. Batas atas dan batas bawah dihitung dengan cara menambahkan dan mengurangi nilai standar dengan nilai penyimpangan. Pengaturan ketentuan optimasi yang dilakukan dengan menggunakan program *Minitab16* ditunjukkan pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6 Batasan Optimasi Respon Menggunakan Fungsi *Desirability*

Respon	Tujuan	Batas bawah	Target	Batas atas	ω	<i>I</i>
<i>L</i>	Nominal terbaik	91,74	92,04	95,04	1	1
<i>a</i>	Nominal terbaik	0,74	1,04	1,34	1	1
<i>b</i>	Nominal terbaik	8,94	9,24	9,54	1	1

Hasil optimasi dengan menggunakan fungsi *desirability* yang dijalankan pada program *Minitab 16* menghasilkan nilai optimal *L* sebesar 92,047, *a* adalah 1,0484 dan *b* 9,4662 yang diperoleh pada saat nilai *D* mencapai 0,18291. Gambar 3 menampilkan grafik optimasi fungsi *desirability*. Pengaturan faktor pada kondisi optimal adalah suhu oven sebesar 199,2 dan waktu curing 10,0003. Hal ini menunjukkan bahwa setting optimal pada cat bubuk PW-01 adalah 199,2°C selama 10 menit mendekati nilai standar yaitu 200°C selama 10 menit. Pengujian warna yang dilakukan di laboratorium produsen cat bubuk PW-01 adalah 200°C selama 10 menit.



Gambar 2. Grafik optimasi fungsi *desirability*

Kesimpulan

Berdasarkan pemodelan, optimasi, perhitungan biaya dan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Suhu dan waktu berpengaruh signifikan terhadap kecenderungan menguning dan kecerahan pada hasil pengecatan cat bubuk. Peningkatan suhu dan waktu akan menyebabkan hasil cat menguning dan menjadi lebih gelap.
2. Pemodelan pengaruh faktor suhu oven (x_1) dan waktu pematangan dalam oven (x_2) terhadap respon L , a , dan b mengikuti persamaan orde dua berikut ini.

$$Y_L = -27,9722 + 1,2988X_1 + 0,5833X_2 - 0,0035 (X_1)^2 - 0,0035X_1X_2$$

$$Y_a = -1,1064 + 0,0242X_1 - 1,091X_2 - 0,0001 (X_1)^2 + 0,0001X_1X_2$$

$$Y_b = 25,7463 - 1,761X_1 - 0,1211X_2 + 0,0005 (X_1)^2 + 0,0007X_1X_2$$
3. Optimasi dengan menggunakan fungsi *desirability* menghasilkan nilai L sebesar 92,47 a sebesar 1,0484 dan b 9,4662 yang dilakukan pada seting suhu 199°C dengan waktu pemanasan 10 menit,

Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan maka perlu diperhatikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Penelitian tentang pengaruh ketebalan media yang dicat untuk mengetahui perbedaan warna antar variasi.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian kecenderungan perubahan warna untuk warna sejenis dari berbagai produsen cat bubuk.

Daftar Pustaka

- [1] Bazrafshan, Z., Ataefard, M., Nourmohammadian, F. 2015, Modeling The Effect of Pigment and Processing Parameters in Polymeric Composite for Printing Ink Application Using The Response Surface Methodology, *Progress in Organic Coating*, Vol. 82, hal. 68-73.
- [2] Fatemi, S., Varkani, M.K., Ranjbar, Z., Bastani, S. 2006, Optimization of Water-Based Road-Marking Paint by Experimental Design, Mixture Method, *Progress in Organic Coating*, Vol. 55, hal. 337-344.

- [3] Iriawan, N., Astuti, S.P. 2006, *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*, Andi, Yogyakarta.
- [4] Kumar, S.R. 2010, Comparison of Windows Made with Different Type of Material-A Case Study, *International Journal Of Civil and Structural Engineering*, Vol. 1, hal. 565-575.
- [5] Mirabedini, S.M., Jamali, S.S., Hahghayegh, M., Sharifi, M., Mirabedini, A.S., Nasab, R.H. 2012, Application of Mixture Experimental Design to Optimize Formulation and Performance of Thermoplastic Road Markings, *Progress in Organic Coating*, Vol. 75, hal. 549-559.
- [6] Montgomery, D.C. 2009, *Design and Analysis of Experiments*, 7th edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [7] Sukram, Bobby OP, 2016. Optimasi Perbedaan Warna dan Kilap Cat bubuk Menggunakan Metode Permukaan Respon, Seminar Manajemen Teknologi XXIV 2016, hal A36-1-12.
- [8] Wu, C.F.J., Hamada, M. 2000, *Experiments Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization*, John Wiley & Sons, Inc., New York.