

Aplikasi Disain Komposit Pusat Pada Proses Pengecatan Mobil Bekas

Abeth Novria Sonjaya*, Kevin Hervito dan Tri Atmoko

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya

* Corresponding author: abethw21@gmail.com

Abstract

Business of buying and selling used cars in Indonesia is increasing and growing, so it demands a fast, precise and economical repair process. To increase the selling price of used cars, it is necessary to repair used cars or what is better known as refurbishment work pre-owned cars, which are mostly carried out by small-scale used car buying and selling businesses. This study aims to process of painting refurbishment work pre-owned cars a Toyota Avanza car bodypaint against the thickness of the paint using a spray booth tool by using the model of central composite design (CCD). The effect of spray-on booth temperature, interstice size of the spray gun, and time according to the thickness of the paint will be analyzed using the CCD method. This spray booth painting technology is expected to help reduce bodypaint lead time. The results of the ANOVA (Analysis of Variance) regression analysis, the temperature of the spray booth, interstice size of the spray gun, and time are the factors that most significantly affect the thickness of the paint. The operating conditions to produce optimal paint thickness is at temperature 55°C, interstice size of spray gun of 1.7 mm and time of painting and drying of 30 minutes, the resulted of a thickness of the paint for used and new cars are 130.2 μm and 81.84 μm ., with a coefficient of determination for used and new cars of 90.78% and 96.19%.

Abstrak

Bisnis jual beli mobil bekas di Indonesia semakin meningkat dan berkembang sehingga menuntut proses perbaikan yang cepat, tepat dan hemat. Untuk meningkatkan harga jual mobil bekas, maka perlu dilakukan perbaikan terhadap mobil bekas pakai atau yang lebih dikenal dengan *refurbishment work pre-owned car* yang banyak dilakukan oleh pelaku bisnis jual beli mobil bekas skala kecil. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses pengecatan bodi kendaraan mobil bekas merek Toyota tipe Avanza terhadap ketebalan cat dengan alat *spray booth* menggunakan metode *central composite design (CCD)*. Pengaruh temperatur oven/spray booth, ukuran celah *spray gun*, dan waktu pengecatan terhadap ketebalan cat dianalisis menggunakan metode *central composite design (CCD)*. Teknologi pengecatan menggunakan *spray booth* dapat mereduksi *leadtime body paint*. Hasil analisis regresi ANOVA (*Analysis of Variance*), temperatur ruang *spray booth*, ukuran celah *spray gun*, dan waktu merupakan faktor yang paling signifikan berpengaruh terhadap ketebalan cat. Kondisi operasi untuk menghasilkan ketebalan cat yang optimal adalah temperatur ruang 55 °C, ukuran celah *spray gun* 1,7 mm dan lama waktu pengecatan dan pengeringan selama 30 menit, menghasilkan ketebalan cat pada mobil bekas dan baru sebesar 130,2 μm dan 81,84 μm , dengan koefisien determinasi untuk mobil bekas dan baru sebesar 90,78 % dan 96,19%.

Keywords : *body paint, central composite design, pre owned car*

PENDAHULUAN

Bisnis mobil bekas sudah semakin marak di Indonesia. Hal ini bisa kita lihat dari banyaknya iklan mobil bekas yang bisa ditemukan pada berbagai situs *marketplace* otomotif seperti Mobil88, Mobil123, Carmudi, Rajamobil, MobilBekas, OLX, dan beberapa situs lainnya. Peluang usaha yang satu ini banyak dijalankan pebisnis kecil maupun besar karena memang banyak permintaan dari masyarakat Indonesia, dan keuntungan yang bisa didapatkan dari bisnis jual beli mobil bekas ini cukup menjanjikan. Untuk meningkatkan harga jual mobil bekas, maka perlu dilakukan perbaikan. Proses perbaikan terhadap mobil bekas pakai atau yang lebih dikenal dengan *refurbishment work pre-owned car* banyak dilakukan oleh pelaku bisnis jual beli mobil bekas skala besar dan kecil. Agar mobil bekas dapat kembali ke kondisi seperti baru, umumnya para pelaku penjual mobil bekas skala besar dan kecil melakukan proses perbaikan atau merekondisi kendaraan tersebut di bengkelnya sendiri, karena yang menjadi fokus perhatian konsumen mobil bekas salah satunya adalah kualitas cat bodi kendaraan, sehingga perbaikan yang dilakukan adalah proses pengecatan bodi kendaraan yang dipengaruhi oleh ketebalan cat. Proses pengecatan bodi kendaraan dilakukan dengan menggunakan alat *spray booth*, namun lamanya proses perbaikan, khususnya pada pekerjaan pengecatan bodi kendaraan akan mempengaruhi kinerja penjualan. Tabel 1. memperlihatkan data proses pengecatan bodi kendaraan pada mobil bekas mempengaruhi waktu perbaikan mobil bekas secara keseluruhan. Proses pengecatan mobil bekas yang dilakukan dari beberapa wilayah bengkel PT XYZ sebesar 51,43 jam kerja dengan total perbaikan secara keseluruhan sebesar 63,57 jam kerja.

Tabel 1. *Leadtime refurbishment work pre-owned car*

Wilayah	Jumlah Panel	Waktu Pengecatan (jam)	Rata rata waktu pengecatan per panel (jam)	<i>Leadtime General Repair</i> (jam)	<i>Leadtime Car Detailing</i> (jam)	Total waktu perbaikan mobil bekas (jam)
DKI Jakarta	8	64	12,8	5	8	77
Bandung	6	48	12	4	10	62
Semarang	7	48	16	3	6	57
Surabaya	8	48	12	4	8	60
Bali	6	40	10	4	8	52
Sumatra	8	64	12,8	5	6	75
Kalimantan	4	48	8	6	8	62
T o t a l	6,71	51,43	11,94	4,43	7,71	63,57

Sumber: PT XYZ, 2019

Secara umum pengecatan dengan *automated spray* merupakan proses penting dalam pembuatan produk, seperti kendaraan angkutan darat, laut, dan udara. Bentuk benda kerja dan parameter alat dapat sangat mempengaruhi kualitas hasil penyemprotan [1]. Proses pengecatan dengan *spray* pada kendaraan banyak dikerjakan menggunakan robot, dan beberapa proses pengecatan menggunakan udara bertekanan untuk menyemprotkan atom dan

mengarahkan partikel cairan ke permukaan [2][3][4]. Pengecatan adalah salah satu jenis pelapisan permukaan dimana bahan pelapisnya telah diberi pewarna (cat). Pengecatan secara tradisional digambarkan sebagai suatu proses pewarnaan. Proses pengecatan tersebut biasanya digunakan untuk pekerjaan akhir (*finishing*) produk-produk dari logam, kayu, plastik, dan lain-lain [5]. Proses mengecat merupakan suatu proses yang penting dalam industriomotif. Proses ini bertujuan untuk memberi penampilan yang menarik dan menyediakan lapisan perlindungan untuk melawan cuaca dan karat [6]. Selain itu kualitas cat juga sangat mempengaruhi ketebalan cat [7], dan keseragaman pada bodi kendaraan [8].

Pengecatan adalah suatu proses aplikasi cat dalam bentuk cair pada suatu obyek, untuk membuat lapisan tipis yang kemudian dikeringkan, agar membentuk lapisan yang keras atau lapisan cat. Fungsi dari pengecatan ada dua yaitu fungsi proteksi dan fungsi estetika. Pertama fungsi proteksi yaitu memberikan perlindungan dari karat, korosi serta pengeroposan sehingga *life time* suatu material bisa tahan lebih lama. Kedua, fungsi estetika yaitu memberikan keindahan pada suatu obyek yang telah dicat sehingga terlihat lebih indah dan menarik.

Saat ini *spray booth* yang dimiliki oleh bengkel-bengkel ternama sangat besar ukurannya, menggunakan *thermal lamp* sebagai pemanasnya yang terbilang cukup mahal. Para pelaku bisnis mobil bekas dengan keterbatasan lahannya tidak dapat menggunakan alat tersebut, karena harganya yang sangat mahal. *spray booth* memiliki banyak *feature* yang sangat lengkap seperti mengatur temperatur di dalam ruangan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan juga memiliki pengaturan *airflow* yang sangat baik. Untuk meningkatkan standar kualitas dan mempercepat waktu proses pengecatan bodi kendaraan, maka para pelaku bisnis mobil bekas menerapkan alat multifungsi *spray booth* sederhana berukuran kecil dengan gas sebagai pemanasnya, dan tidak perlu lahan yang besar.

Paper ini mengkaji hasil pengecatan bodi kendaraan dengan *spray booth* menggunakan model disain komposit pusat (*Central Composite Design*) terhadap ketebalan cat mobil bekas. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh temperatur, ukuran *nozzle spray booth* dan waktu pengecatan terhadap ketebalan cat mobil bekas.

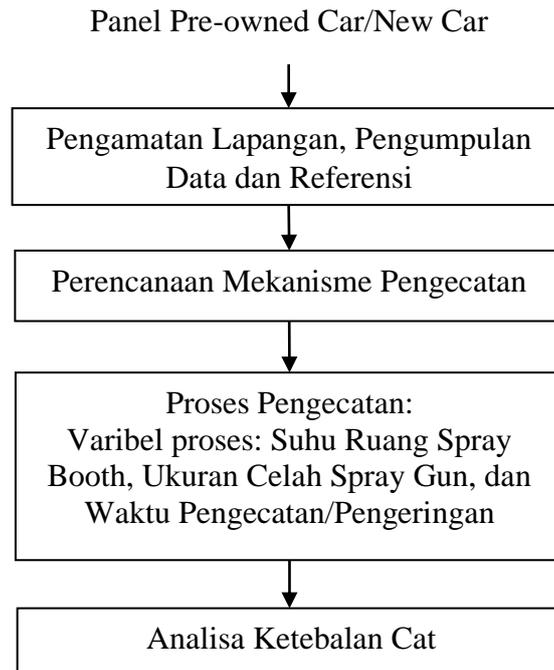
METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan adalah *bodyfiller (spruce)*, *epoxy (siken)*, *surfacers*, *prime coat*, amplas, *basecoat (siken)*, *clearcoat* dan *wax*. Peralatan yang digunakan adalah *spray gun* dengan spesifikasi *air consumption* 220 L/min, *nozzle bore* 0.8 mm, *spraying pressure* 0.25 MPa, *paint spraying volume* 180 mL/min, *required compressor output* 1.5 kW, kompresor, *coating thickness gauge*, mesin poles, lampu LED (*Light Emitting Diode*), timbangan dan cat.

Diagram Proses Pengecatan

Diagram proses pengecatan kendaraan mobil bekas (*body paint pre-owned car*) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pengecatan bodi kendaraan mobil bekas

Disain Penelitian

Disain eksperimen yang digunakan adalah 2^3 faktorial dengan tiga variabel berpengaruh, enam ulangan *center point*, dan enam pengaruh kuadratik variabel. Disain eksperimen dan analisis hasil optimasi variabel proses yang berpengaruh dilakukan dengan menggunakan *Central Composite Design* (CCD) [9]. Percobaan dilakukan tiga faktor dan semua percobaan dibuat dalam bentuk random. Rancangan disain penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rancangan Percobaan

Taraf Kode	Variabel Faktor (x)	Respon Ketebalan Cat (y)
<i>Low (-1)</i>	Temperatur	
<i>Center (0)</i>		
<i>High (+1)</i>		
<i>Low (-1)</i>	Ukuran <i>nozzle spray gun</i>	
<i>Center (0)</i>		
<i>High (+1)</i>		
<i>Low (-1)</i>	Waktu	
<i>Center (0)</i>		
<i>High (+1)</i>		

Analisis Respon

Langkah-langkah dalam analisis respon adalah sebagai berikut (1) menentukan variabel respon, variabel bebas, dan range dari variabel bebas. (2) membuat rancangan ordo satu. (3) membuat persamaan model regresi ordo satu. (4) menguji hipotesis *lack of fit* dan ANOVA. (5) menentukan daerah optimal dengan menggunakan metode steepest ascent. (6) membuat desain respon permukaan orde dua. (7) membuat persamaan model regresi ordo dua dari data yang ada. (8) menguji hipotesis *lack of fit* dan ANOVA (9) validasi analisis permukaan respon.

Variabel respon ketebalan cat (Y) dianalisis menggunakan ANOVA dan uji t. Data hasil penelitian diolah menggunakan software Minitab 19, sehingga didapatkan model linier yang diuji signifikansinya (*p-value*) dan kesesuaian model regresi (*Lack of fit*). Validasi hasil analisis residual dan normalitas dilakukan untuk memeriksa kecukupan model [9].

Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan model persamaan matematis dengan analisis multiple regresi untuk mendapatkan model optimasi yang dipresentasikan dengan rumus sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3 + \varepsilon$$

Dimana:

Y	: respon
$\beta_0, \beta_1, \beta_{11}, \dots, \beta_{23}$: parameter regresi
X_1	: temperatur
X_2	: ukuran <i>nozzle spray gun</i>
X_3	: waktu
ε	: komponen galat

Berdasarkan hasil olah data menggunakan Minitab 19, respon permukaan optimum yaitu titik stasioner dan nilai respon optimum ditunjukkan berdasarkan *contour plot* dan *surface plot*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengecatan dan pengukuran ketebalan cat dilakukan di PT NN dan PT XYZ Jakarta. Pengukuran dilakukan dengan dua sampel yang berbeda. Sebagai parameter yaitu sampel ketebalan cat pada mobil baru (sebelum mengalami pengecatan ulang dari baru atau dari Agen Pemegang Merek Toyota). Pengukuran dengan menggunakan dua alat yaitu *coating thickness gauge* CM-8825FN (digital) dan *autobody damage gauge* (analog). Namun dalam data pengamatan, hasil pengukuran yang diambil adalah dari alat ukur *coating thickness gauge* karena memiliki batasan ukuran 0-1250um/0-50mil dan tingkat akurasi 1-3%. Sifat pengukuran ketebalan cat pada panel kendaraan adalah mengukur ketebalan dari permukaan plat sampai permukaan panel (*clear coat*). Ada 11 panel yang diukur dan masing-masing diambil sampel pada tiga titik kecuali pada panel *roof* diambil sampel pada empat titik.

Perbedaan pengecatan mobil baru dan bekas terletak pada proses *body filler*. Untuk mobil baru proses pengecatan yang dilakukan tanpa proses *body filler* karena fungsi *body filler* adalah untuk meratakan bidang yang sudah mengalami ketukan atau pengelasan panel yang cacat karena benturan dan goresan. Proses pengecatan pada mobil tipe Avanza di bengkel (PT XYZ) memberikan ketebalan (setelah diampelas) pada *body filler* sebesar 40% dari total ketebalan cat yang diukur. Hasil pengukuran ketebalan cat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran ketebalan cat pada mobil tipe *low MPV*

Area Panel	Titik ketebalan cat				Rata rata ketebalan cat mobil bekas (μm)	Rata rata ketebalan cat mobil baru (μm)
	A	B	C	D		
Pintu depan sisi kanan	216	153	158	-	175,7	86,5
Pintu belakang sisi kanan	240	143	148	-	177,0	91,2
<i>Quarter</i> kanan	163	198	140	-	167,0	80,9
Pintu belakang <i>Quarter</i> kiri	138	136	142	-	138,7	77,0
Pintu belakang sisi kiri	194	286	210	-	230,0	83,9
Pintu depan sisi kiri	154	156	134	-	148,0	89,9
<i>Fender</i> depan sisi kiri	171	178	173	-	174,0	83,6
<i>Engine Hood</i>	192	215	233	-	213,3	71,5
<i>Fender</i> depan sisi kanan	179	136	156	-	157,0	83,4
<i>Rooftop</i>	153	146	193	-	164,0	78,4
	122	134	129	172	139,3	74,0

Tabel 3. memperlihatkan hasil ketebalan cat untuk beberapa bagian, area panel yang dipilih adalah panel besar yang ada disetiap kendaraan khususnya tipe MPV. Setiap panel diukur ketebalan catnya sebanyak tiga titik kecuali pada panel *rooftop* diukur sebanyak empat titik karena luas permukaan panel lebih besar dari area panel lainnya. Bagian bumper kendaraan tidak dilakukan pengukuran karena bahan dari bumper umumnya adalah bahan plastik atau serat fiber (*fiber reinforce plastic/FRP*) sehingga tidak terdeteksi ketebalannya oleh *coating thickness gauge*. Lapisan untuk *body filler*, *resin epoxy*, *base coat*, dan *clear coat* untuk pengecatan bodi pada kendaraan tipe Avanza, nilai *coating thickness* yang diambil adalah 40% tanpa *body filler*, sehingga nilainya diasumsikan sama dengan proses pengecatan kendaraan baru yaitu *epoxy* 25%, *base coat* 15%, dan *clear coat* 20%.

Batasan yang diukur oleh *coating thickness gauge* dalam ketebalan cat di antara permukaan plat sampai permukaan alat. Hasil pengukuran berbeda pada setiap bagian panel sehingga menimbulkan beberapa kemungkinan selisih pengukuran. Faktor *error* pengukuran diperoleh sebesar 2% hal ini disebabkan panel yang diukur pada bodi kendaraan belum dilakukan proses pembersihan dan pencucian, sehingga debu masih melekat pada permukaan cat dan adanya jamur permukaan cat yang menimbulkan *water spot* dan cacat lainnya.

Model Disain Percobaan

Pengukuran pada variabel temperatur, ukuran *nozzle spray gun* dan waktu pengecatan terhadap ketebalan cat mobil baru dan bekas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh temperatur, ukuran nozzle dan waktu terhadap respon ketebalan cat mobil bekas dan baru

No.	X ₁ Temperatur (°C)	X ₂ Ukuran nozzle (mm)	X ₃ Waktu (Menit)	(Y) Ketebalan Cat Mobil Bekas (µm)	(Y) Ketebalan Cat Mobil Baru (µm)
1	45	0,7	25	83,2	71,533
2	70	0,7	25	83,55	73,95
3	45	0,7	25	83,67	74,245
4	70	0,7	25	83,86	74,455
5	45	2,7	35	94,2	76,967
6	70	2,7	35	94,2	78,4
7	45	2,7	35	98,4	80,207
8	70	2,7	35	100,2	80,867
9	55	1,7	30	130,2	81,844
10	55	1,7	30	130,2	81,844
11	55	1,7	30	130,2	81,844
12	55	1,7	30	129,8	81,844
13	55	1,7	30	130,2	82
14	55	1,7	30	130	81,7
15	71,82	1,7	30	179,55	83,433
16	38,18	1,7	30	189,44	83,567
17	55	3,382	30	193,3	83,933
18	55	0,018	30	218,4	86,533
19	55	1,7	31,682	312	89,9
20	55	1,7	28,318	491,4	91,2

Hasil respon terhadap ketebalan cat mobil bekas yang diperoleh adalah sebesar 82,2 µm - 491,4 µm. Untuk mobil baru diperoleh ketebalan cat sebesar 71,533 µm - 91,2 µm. Hasil estimasi uji t untuk perlakuan temperatur, ukuran *nozzle spray gun* dan waktu pengecatan dapat dilihat pada Tabel 5.

Hasil Uji ANOVA (*Analysis of Variance*)

Berdasarkan uji *Analysis of Variance* (ANOVA) *p-value* ($P < 0,05$) untuk respon mobil bekas pada perlakuan temperatur, ukuran *nozzle spray gun*, dan waktu pengecatan dengan model regresi linier tidak berpengaruh signifikan terhadap respon ketebalan cat pada mobil bekas yang didapat, namun berpengaruh signifikan terhadap mobil baru. Interaksi antara ukuran *nozzle spray gun* dan waktu yang mengindikasikan bahwa model dapat mendeskripsikan data respon ketebalan cat mobil bekas dan mobil baru, sehingga dapat disimpulkan bahwa model yang didapat cocok digunakan untuk memprediksikan kondisi proses pengecatan yang menghasilkan ketebalan cat yang optimum. Sedangkan pada mobil baru pada perlakuan temperatur, ukuran *nozzle spray gun*, dan waktu pengecatan, baik model regresi linier maupun kuadratik berpengaruh signifikan. Interaksi antara ukuran *nozzle spray gun* dan waktu berpengaruh signifikan terhadap respon ketebalan cat yang didapat ($P > 0,05$).

Hasil uji ANOVA dilanjutkan dengan uji t yang diperlihatkan pada Tabel 3. Pada uji t, koefisien kuadrat sebagai konstanta model linier didapatkan berdasarkan koefisien konstan, temperatur (X1), ukuran *nozzle spray gun* (X2) dan waktu (X3). Koefisien linier baik temperatur maupun ukuran *nozzle spray gun* pada mobil bekas dan mobil baru tidak berpengaruh secara signifikan terhadap ketebalan cat yang dihasilkan ($P > 0,05$), namun interaksi antara ukuran *nozzle spray gun* dan waktu berpengaruh secara signifikan terhadap ketebalan cat yang dihasilkan ($P < 0,05$).

Tabel 5. Estimasi koefisien kuadrat pada perlakuan temperatur, ukuran dan waktu berdasarkan uji t.

Term	Mobil Bekas			Mobil Baru		
	Coef	T-Value	P-Value	Coef	T-Value	P-Value
Const	130,9	8,27	0,000	81,821	155,29	0,000
X ₁	-11,8	-0,71	0,493	0,168	0,30	0,768
X ₂	5,1	0,19	0,854	-0,954	-1,06	0,314
X ₃	-4,2	-0,20	0,845	3,211	4,60	0,001
X ₁ * X ₁	51,6	1,68	0,121	1,75	1,71	0,115
X ₂ * X ₂	75,0	2,35	0,038	3,41	3,22	0,008
X ₃ * X ₃	2393	8,50	0,000	77,14	8,22	0,000
X ₁ * X ₂	3,7	0,12	0,908	-0,09	-0,08	0,936
X ₂ * X ₃	-4185	-8,84	0,000	-142,7	-9,05	0,000

P > 95% berpengaruh signifikan

Hasil *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mobil bekas dan baru dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Hasil uji ANOVA pada Mobil Bekas

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	165932	20742	13,54	0,000
Linear	3	836	279	0,18	0,906
X ₁	1	770	770	0,50	0,493
X ₂	1	54	54	0,04	0,854
X ₃	1	62	62	0,04	0,845
Square	3	110938	36979	24,14	0,000
X ₁ * X ₁	1	4313	4313	2,82	0,121
X ₂ * X ₂	1	8470	8470	5,53	0,038
X ₃ * X ₃	1	110532	110532	72,17	0,000
2-Way	2	119635	59817	39,06	0,000
Interaction					
X ₁ X ₂	1	22	22	0,01	0,908
X ₂ X ₃	1	119613	119613	78,10	0,000
Error	11	16847	1532		
Lack-of-Fit	2	16820	8410	2805,58	0,000
Pure Error	9	27	3		
Total	19	182780			

Tabel 7. Hasil uji ANOVA pada Mobil Baru

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	472,038	59,005	34,76	0,000
Linear	3	58,094	19,365	11,41	0,001
X ₁	1	0,155	0,155	0,09	0,768
X ₂	1	1,891	1,891	1,11	0,314
X ₃	1	35,957	35,957	21,18	0,001
Square	3	117,862	39,287	23,14	0,000
X ₁ * X ₁	1	4,961	4,961	2,92	0,115
X ₂ * X ₂	1	17,548	17,548	10,34	0,008
X ₃ * X ₃	1	114,838	114,838	67,65	0,000
2-Way	2	139,157	69,578	40,99	0,000
Interaction					
X ₁ X ₂	1	0,011	0,011	0,01	0,936
X ₂ X ₃	1	139,146	139,146	81,97	0,000
Error	11	18,674	1,698		
Lack-of-Fit	2	6,577	3,288	2,45	0,142
Pure Error	9	12,097	1,344		
Total	19	490,712			

Tabel 8. memperlihatkan model regresi linier dan kuadratik pada proses pengecatan berdasarkan estimasi koefisien kuadrat dan hasil uji ANOVA. Kode Y, X₁, X₂ dan X₃ berturut-turut adalah temperatur (°C), ukuran *nozzle spray gun* (mm) dan waktu pengecatan sampai pengeringan (menit). Model regresi sekunder memperlihatkan bahwa ketebalan cat mobil bekas dan mobil baru yang dihasilkan dipengaruhi oleh interaksi antara ukuran *nozzle spray gun* dan lama waktu pengecatan, yang ditunjukkan pada konstanta positif pada model.

Tabel 8. Uji ANOVA

Signifikansi (P<0,05)	Lack of Fit	R ²
Model linier p-value = 0,906	2805,58	90,78%
Model Kuadratik = 0,000		
Model linier P-value = 0,001	2,45	96,19%
Model kuadratik p-value = 0,000		

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{ketebalan mobil bekas}} &= 61603 - 21,0X_1 + 14835X_2 - 4898X_3 + 0,182X_1^2 + 26,5X_2^2 + 95,7X_3^2 \\
 &+ 0,13X_1X_2 - 497,6X_2X_3
 \end{aligned}$$

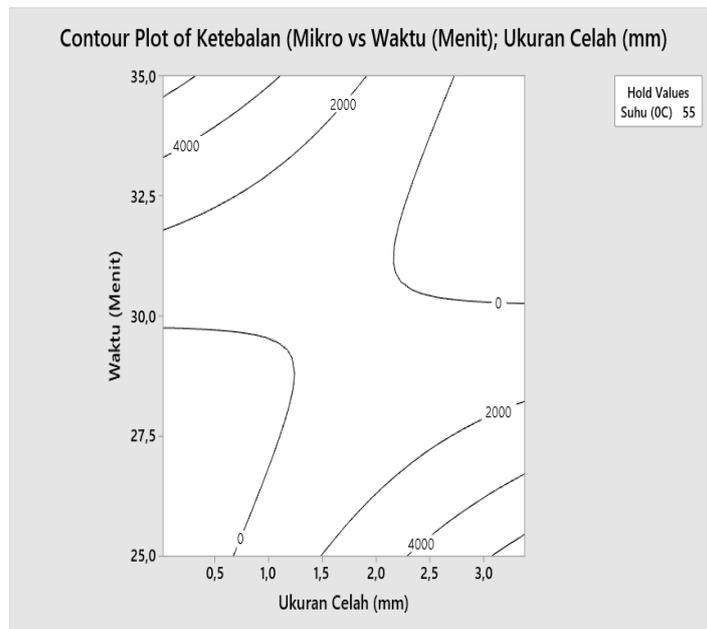
$Y_{\text{ketebalan mobil baru}}$

$$= 1996 - 0,665X_1 + 504,7X_2 - 155,6X_3 + 0,00618X_1^2 + 1,206X_2^2 + 3,085X_3^2 - 0,0030X_1X_2 - 16,97X_2X_3$$

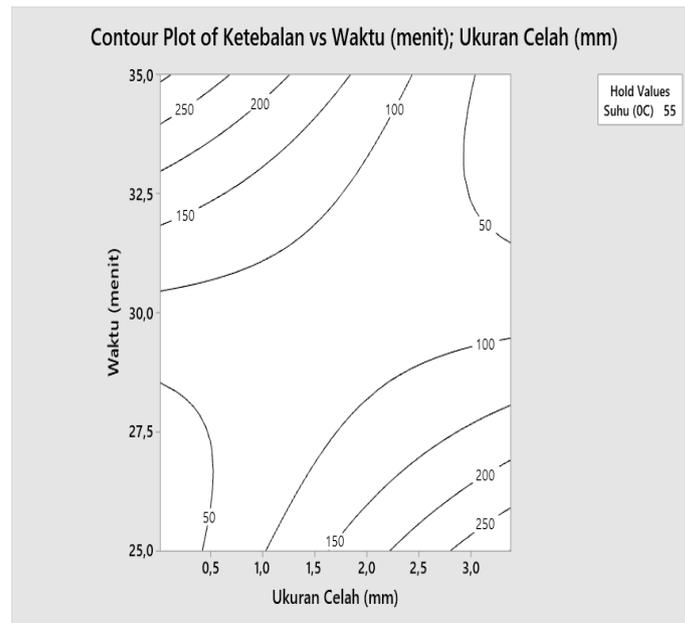
Kondisi Respon Optimum

Kondisi optimal untuk mendapatkan ketebalan cat yang paling minimal yaitu 83,2 mikrometer untuk mobil bekas dan 71,33 mikrometer untuk mobil baru, dapat dicapai pada temperatur 45⁰C, ukuran *nozzle spray gun* 0,7 mm dan waktu pengecatan sampai pengeringan 25 menit. Pada perlakuan temperatur 70⁰C, ukuran celah *spray gun* 2,7 mm dan waktu pengecatan sampai pengeringan 35 menit, diperoleh nilai optimal ketebalan cat untuk mobil bekas 94,2 mikrometer dan 78,4 mikrometer untuk mobil baru. Gambar 2. menunjukkan tiga dimensional permukaan respon pada variabel tetap yang diplotkan dengan dua variabel bebas (ukuran *nozzle spray gun* dan waktu pengecatan sampai pengeringan) yang diolah dengan menggunakan *software* Minitab19.

Berdasarkan gambar plot permukaan respon tersebut dapat dilihat bahwa karakteristik yang dimiliki titik stasioner pada percobaan ini menggunakan waktu (menit) dan ukuran *nozzle spray gun* adalah titik pelana. Grafik menunjukkan bahwa ketebalan cat optimal. Pada kondisi ini respon optimal berdasarkan ukuran *nozzle spray gun* dan waktu pengecatan sampai pengeringan tidak terpenuhi sehingga dilakukan analisis lanjutan yaitu respon *contour plot* (Gambar 2 dan 3).

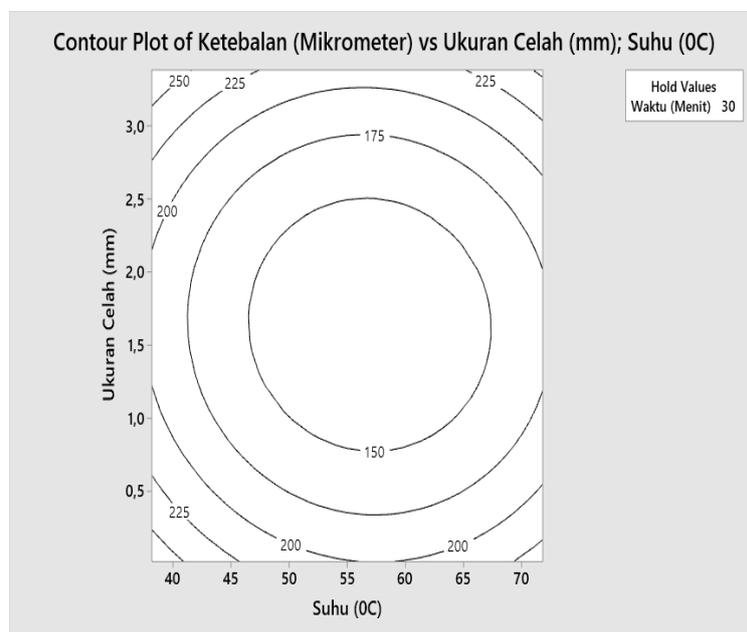


Gambar 2. Kontur Permukaan Respon pada Mobil Bekas

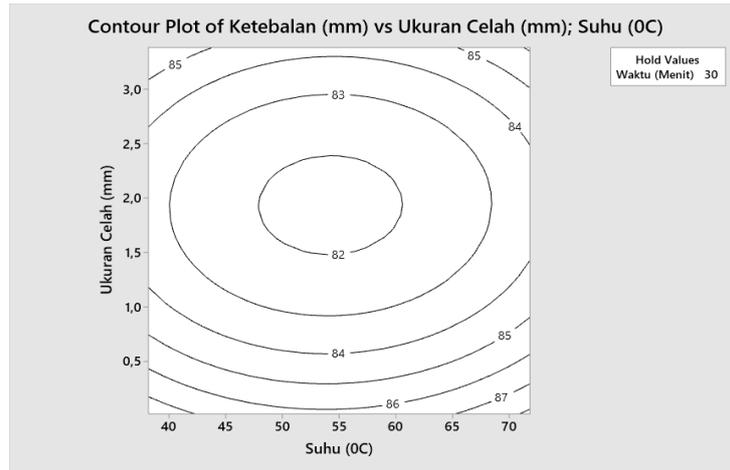


Gambar 3. Kontur Permukaan Respon pada Mobil Baru

Berdasarkan Gambar 2 dan 3 dapat disimpulkan bahwa nilai respon maksimal ketebalan cat adalah 81,84 dan 130,20 mikrometer, dengan kondisi optimal proses pengecatan dilakukan pada temperatur 55°C , ukuran *nozzle spray gun* 1,7 mm dan waktu 30 menit. Peningkatan temperatur atau lama pengecatan tidak memberikan respon positif terhadap ketebalan cat.



Gambar 4. Kontur Permukaan Respon pada Mobil Bekas

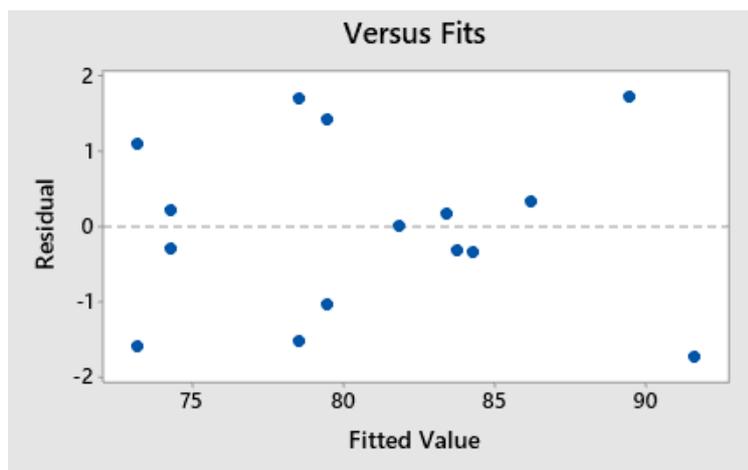


Gambar 5. Kontur Permukaan Respon pada Mobil Baru

Pada Gambar 4 dan 5. memperlihatkan bahwa kontur permukaan respon ketebalan cat mobil bekas dan baru pada interaksi temperatur dan ukuran *nozzle spray gun* memperlihatkan kontur permukaan yang positif. Dibandingkan dengan pendekatan satu variabel dimana tidak dapat mendeteksi frekuensi interaksi antara dua atau lebih faktor. Metode permukaan respon merupakan metode yang dapat dipilih untuk mengetahui kondisi optimal yang dipengaruhi oleh interaksi antar variabel. Kondisi optimal ketebalan cat yaitu pada koordinat *centre point* (titik tengah) dimana *slope* maksimal mendekati titik nol, yaitu pada temperatur 55°C , ukuran *nozzle spray gun* 1,7 mm dan waktu selama 30 menit. Hal ini sesuai dengan optimasi model kudratik yang menunjukkan bahwa nilai respon optimal yaitu sebesar $81,84\ \mu\text{m}$.

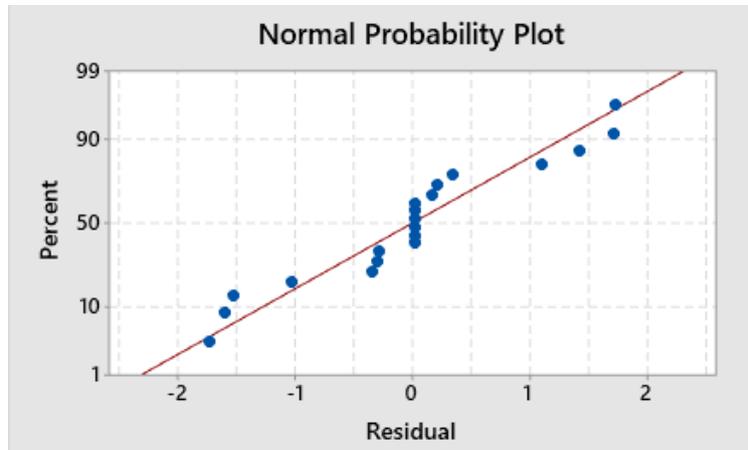
Pengujian Residual dan Uji Kenormalan

Pengujian residual untuk memeriksa kecukupan model tidak hanya diperhatikan *Lack Of Fit*, tetapi harus dilakukan analisis residual. Pengujian residual bertujuan untuk memeriksa apakah varians residual dari model yang diperoleh sama penyebarannya (homokedastisitas). Gambar 6 memperlihatkan hubungan plot residual dengan *fitted value*. Gambar 7. memperlihatkan uji distribusi normal untuk mengamati penyimpangan model.



Gambar 6. Pengujian Residual

Gambar 6 memperlihatkan hubungan plot residual dengan *fitted value*. Residual tersebar secara merata dan tidak membentuk pola tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa asumsi residual identik terpenuhi.



Gambar 7. Uji Distribusi Normal

Residual dinyatakan telah mengikuti distribusi normal jika pada plot kenormalan residual, titik residual yang dihasilkan telah sesuai atau mendekati garis lurus yang ditentukan. Gambar 7 menunjukkan bahwa titik residual yang dihasilkan mendekati garis lurus sehingga uji kenormalan residual telah mengikuti distribusi normal.

KESIMPULAN

Dari analisis data dan pembahasan di atas, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis regresi ANOVA (*Analysis of Variance*), temperatur, ukuran *nozzle spray gun*, dan waktu merupakan faktor yang paling signifikan berpengaruh terhadap ketebalan cat.
2. Kondisi operasi untuk menghasilkan ketebalan cat yang optimal adalah pada temperatur 55 °C, ukuran *nozzle spray gun* 1,7 mm dan lama waktu pengecatan dan pengeringan selama 30 menit, menghasilkan ketebalan cat pada mobil bekas sebesar 81,84 μm dan mobil baru sebesar 130,2 μm .
3. Koefisien determinasi untuk mobil bekas dan baru sebesar 90,78 % dan 96,19%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya atas bantuan dana penelitian melalui program penelitian hibah internal tahun akademik 2019/2020 dan kepada semua pihak yang telah membantu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Giulio, B. Paolo, S. Lorenzo, P. Daniele, G. Alessandro, A new path-constrained trajectory planning strategy for spray painting robots - rev.1, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol 98, 2018, pp.2287–2296.
- [2] M. Ferreira, A.P. Moreira, P. Neto, 2012. A low-cost laser scanning solution for flexible robotic cells: spray coating, *Int J Advan Manuf Technol*, vol 58, 2012, pp. 1031–1041.
- [3] N. Arunkumar, P. Venkatesh, K.S. Srinivas, S. Kaushik, 2012. Response surface modeling and optimization of single axis automatic application of automotive polyurethane coatings on plastic components. *Int J Adv Manuf Technol*, vol 63 no 9, 2012, pp.1065–1072
- [4] P.N. Atkar, A. Greenfield, D.C Conner, H. Choset, A.A. Rizzi, Uniform coverage of automotive surface patches. *Int J Robot Res*, vol, no 24, 2005, pp. 883–898
- [5] Yudhanto, Ferriawan, *Teknik Pengecatan Kendaraan*, Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2013.
- [6] S. Baldwin S. Robotic paint automation: the pros and cons of using robots in your paint finishing system. *Met Finish*, vol 108, 2010, pp.126–129
- [7] Y. Chen, W. Chen, B. Li, G. Zhang, W. Zhang. Paint thickness simulation for painting robot trajectory planning: a review. *Industrial Robot: Int J*, vol 44, no 5, 2017, pp. 629–638
- [8] Duffy, E. James, *Auto Body Repair Technology*, Minnesota : Delmar Cengage Learning, 2008.
- [9] D. C. M. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, New York: John Wiley & Sons, 2001.