



**ANALISIS PARAMETER PELAPISAN  
BAJA KARBON RENDAH (ST 37) DENGAN  
METODE RESPON PERMUKAAN (MRP)**

**SKRIPSI**

Oleh

**Aulia Setyo Agung Nugroho**

**NIM 141910101082**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2018**



**ANALISIS PARAMETER PELAPISAN  
BAJA KARBON RENDAH (ST 37) DENGAN  
METODE RESPON PERMUKAAN (MRP)**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Aulia Setyo Agung Nugroho**

**NIM 141910101082**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2018**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik;
2. Ibunda Setijati dan Ayahanda Asmunir yang tercinta;
3. Negara Kesatuan Republik Indonesia;
4. Guru – guruku sejak taman kanak – kanak sampai dengan perguruan tinggi;
5. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

## MOTTO

“Dunia ini ibarat bayangan, kalau kau berusaha menangkapnya, ia akan lari, tapi kalau kau membelakanginya, ia tak punya pilihan selain mengikutimu”

(Ibnu Qayyim Al Jauziyyah)

“Tidak penting seberapa lambat anda melaju, selagi anda tidak berhenti”

(Confucius)

“Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung. Buat jalanmu sendiri dan tinggalkan jejak”

(Ralph Waldo Emerson)

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Aulia Setyo Agung Nugroho

NIM : 141910101082

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ” Analisis Parameter Pelapisan Baja Karbon Rendah (ST 37) Dengan Metode Respon Permukaan (MRP)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Juli 2018  
Yang menyatakan,

Aulia Setyo Agung Nugroho  
NIM 141910101082

**SKRIPSI**

**ANALISIS PARAMTER PELAPISAN  
BAJA KARBON RENDAH (ST 37) DENGAN  
METODE RESPON PERMUKAAN (MRP)**

Oleh

**Aulia Setyo Agung Nugroho**

**NIM 141910101082**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dedi Dwilaksana, S.T, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T, M.T.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Parameter Pelapisan Baja Karbon Rendah (ST 37) Dengan Metode Respon Permukaan (MRP)” karya Aulia Setyo Agung Nugroho telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, 5 Juli 2018

tempat : Ruang Ujian II lantai 3 Gedung Dekanat

Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,

**Dedi Dwilaksana, S.T., M.T.**

NIP 19691201 199602 1 001

**Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T.**

NIP 19690209 199802 1 001

Penguji

Penguji I,

Penguji II,

**Ir. Ahmad Syuhri, M.T.**

NIP 19670123 199702 1 001

**Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.**

NIP 19681207 199512 1 002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

**Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M**

NIP 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**Analisis Parameter Pelapisan Baja Karbon Rendah (ST 37) Dengan Metode Respon Permukaan (MRP);** Aulia Setyo Agung Nugroho, 089601704000; 2018: 45 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Industri manufaktur merupakan satu unit kerja yang memiliki peran penting dalam hal daya saing Indonesia terhadap negara lain. Proses pelapisan berhubungan dengan proses manufaktur yang dibutuhkan untuk melapisi semua komponen yang di produksi. Data Badan Pusat Statistik (2018) menyatakan bahwa peningkatan pertumbuhan industri manufaktur tahun 2017 yaitu sebesar 4,74% dari tahun sebelumnya.

Beberapa cara dalam proses pelapisan diantaranya dengan cara disemprotkan (*spray*), diusapkan (*wipping*), dicelupkan (*dipping*) atau dengan cara yang lain. Faktor penting yang berpengaruh terhadap kualitas dari hasil pengecatan adalah proses pencampuran cat dengan tinner yang dilakukan dengan angka perbandingan serta metode yang tepat. Masing-masing cara mempunyai keperluan tersendiri tergantung dari produk yang dilapisi.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pelapisan dengan perbandingan pada campuran cat dan tinner mempengaruhi kekentalan, proses pelapisan, konsumsi dan tingkat kilapan cat (kualitas hasil pengecatan). Jenis pengecatan yang digunakan adalah *spray* (semprot) dengan perbandingan campuran 1:1, 1:0.8, 1:1.5. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa perbandingan campuran cat dan tinner 1:1.5 menghasilkan tingkat kilap terbaik sebesar 92.9%.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari titik stasioner dari beberapa parameter yang divariasikan. Parameter tersebut adalah komposisi cat dengan tinner, jarak penyemprotan dan juga suhu pengeringan. Tiga parameter yang digunakan diindikasikan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil dari ketebalan cat,



sehingga peneliti ingin mencari titik stasioner yang dihasilkan dari penelitian yang dilakukan agar mendapatkan hasil yang optimal dari penggunaan tiga parameter diatas.

Hasil penelitian didapatkan bahwa kondisi yang menghasilkan nilai ketebalan tertinggi dengan parameter komposisi sebesar 50 : 50 , dipadukan dengan parameter suhu sebesar 55<sup>0</sup>C, dan diatur dengan jarak sejauh 15 cm pada percobaan ke 18 dengan menghasilkan ketebalan cat sebesar 143.33  $\mu$ m, sedangkan penelitian dengan kondisi yang menghasilkan nilai ketebalan terendah adalah pada ketebalan 60  $\mu$ m dengan variasi parameter komposisi 50 : 50, dengan suhu sebesar 55<sup>0</sup>C, dengan jarak sejauh 23.45 cm.

Perhitungan dan analisis data hasil penelitian menggunakan software minitab 17 dengan menggunakan metode penelitian respon permukaan, didapatkan bahwa semua parameter yang digunakan dalam penelitian ini berpengaruh terhadap hasil ketebalan cat. Analisis data juga didapatkan nilai-nilai aktual dari variabel independen untuk menghasilkan ketebalan cat yang optimum. Hasil nilai tersebut adalah komposisi ( $x_1$ ) = 76.2 : 23.8, suhu ( $x_2$ ) = 56.68<sup>0</sup> C dan jarak ( $x_3$ ) = 9.8 cm. ketika menggunakan parameter tersebut nilai respon optimal yang dihasilkan sebesar 104.26  $\mu$ m.

## SUMMARY

*The manufacturing industry is a unit that has an important role in terms of Indonesia's competitiveness to other countries. The coating process is related to the manufacturing process required to coat all the components in production. Data from Central Bureau of Statistics (2018) inform that the growth of manufacturing industry is increasing amount 4.74% from the previous year.*

*Some ways in the coating process such as sprayed, wiped, dipped or in other ways. Important factors that affect the quality of the painting is the process of mixing the paint with a tinner performed with the number of comparisons as well as appropriate methods. Each way has its own needs depending on the coated product.*

*Previous research has shown that coatings by comparison of paint and tinner mixtures affect the viscosity, coating process, consumption and paint glossiness (painted quality). The type of paint used is spray with a mixture ratio 1:1, 1:0.8, 1:1.5. Experimental results show that the ratio 1:1.5 produce the best glow rate amount 92.9%.*

*This study aims to find the stationary point of several parameters varied. The parameters are paint composition with tinner, spray spacing and also drying temperature. The three parameters indicated that they have a significant effect on the results of the thickness of the paint, so the researchers want to find the stationary point generated from the research conducted in order to obtain optimal results from the use of the above three parameters.*

*The result showed that the experiment wich produced the highest thickness value using 50:50 composition, combined with the temperature parameter of 55<sup>0</sup>C, and arranged with a distance of 15 cm in the 18th experiment by producing a paint thickness amount 143.33  $\mu\text{m}$ , while the study that produced the lowest thickness value was at 60  $\mu\text{m}$  with variation of 50:50 composition, in temperature of 55<sup>0</sup>C, with distance as far as 23.45 cm.*

*Calculation and analysis from research data using minitab 17 software with surface response method, found that all parameters that used in this study have an effect on the result of paint thickness. Data analysis also obtained the actual values of independent variables to produce optimum paint thickness. The result of this value is composition ( $x_1$ ) = 76.2:23.8, temperature ( $x_2$ ) = 56.68<sup>0</sup>C and distance ( $x_3$ ) = 9.8 cm. when using these parameters the optimal response value generated amounted to 104.26  $\mu$ m.*

## PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Parameter Pelapisan Baja Karbon Rendah (ST 37) Dengan Metode Respon Permukaan (MRP)”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Entin Hidayah M, UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
4. Bapak Dedi Dwilaksana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama
5. Bapak Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota
6. Bapak Robertus Koekoeh, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik
7. Bapak Rizal Yasmiardi selaku Manajer Divisi Quality Control PT. Bromo Steel Indonesia
8. Bapak Firman selaku Kepala Laboratorium Pengecatan di Universitas Negeri Surabaya
9. Ayah, Ibu, Adik-adik, keluarga dan saudara yang telah memberikan dukungan
10. Civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah memberikan semangat

Jember, Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO .....	iii
PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
PENGESAHAN .....	vi
RINGKASAN .....	vii
<i>SUMMARY</i> .....	ix
PRAKATA .....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan dan Manfaat .....</b>	<b>4</b>
1.3.1 Tujuan .....	4
1.3.2 Manfaat .....	4
<b>1.4 Batasan Masalah.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Hipotesis .....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Pelapisan Organik .....</b>	<b>6</b>

2.1.1 Bahan – bahan penyusun pelapisan organik.....	6
2.1.2 Cara – cara pembuatan zat pelapis.....	7
2.1.3 Fungsi lapisan pada material.....	7
2.1.4 Mekanisme proteksi dari lapisan.....	7
<b>2.2 Tahap – Tahap <i>Surface Preparation</i> .....</b>	<b>8</b>
2.2.1 Persiapan permukaan .....	8
<b>2.3 Aplikasi pelapisan.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Standar Pelapisan .....</b>	<b>9</b>
<b>2.5 Logam .....</b>	<b>10</b>
2.5.1 Besi .....	11
2.5.2 Baja Karbon .....	11
2.5.3 <i>Stainless Steel</i> (baja tahan karat).....	12
<b>2.6 Korosi.....</b>	<b>12</b>
2.6.1 Korosi basah.....	12
2.6.2 Korosi kering .....	13
<b>2.7 Desain Eksperimen .....</b>	<b>13</b>
<b>2.8 Rancangan Percobaan Optimal .....</b>	<b>15</b>
<b>2.9 Metode Steepest Ascent.....</b>	<b>16</b>
<b>2.10 Karakteristik Respon Permukaan .....</b>	<b>17</b>
<b>2.11 Rancangan Percobaan yang Sesuai untuk Respon Permukaan.....</b>	<b>18</b>
2.11.1 Rancangan Model Orde Pertama .....	19
2.11.2 Rancangan yang Sesuai untuk Model Orde Kedua.....	19
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>22</b>

<b>3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....</b>	<b>22</b>
3.1.1 Waktu penelitian .....	22
3.1.2 Tempat penelitian.....	22
<b>3.2 Alat dan Bahan .....</b>	<b>22</b>
3.2.1 Alat.....	22
3.2.2 Bahan .....	24
<b>3.3 Metode Penelitian .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4 Tahap Identifikasi Masalah .....</b>	<b>26</b>
<b>3.5 Rancangan Penelitian.....</b>	<b>27</b>
<b>3.6 Diagram Alir Penelitian .....</b>	<b>31</b>
<b>3.7 Jadwal rencana penelitian .....</b>	<b>32</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Uji Cross Cut.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2 Pengolahan dan Analisis Data .....</b>	<b>33</b>
4.2.1 Data hasil penelitian orde satu .....	33
4.2.2 Analisis Data Orde Satu.....	34
4.2.3 Data Hasil Penelitian Orde Dua.....	36
4.2.4 Analisis Data Orde Dua .....	37
4.2.5 Pengujian Asumsi Residual .....	40
4.2.6 Penentuan Titik Stasioner .....	42
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>44</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>44</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>44</b>

# UPT Perpustakaan Universitas Jember

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>46</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>47</b>





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar bagian sprayer (KlikTeknik, 2016) .....	9
Gambar 2.2 Ilustrasi plot permukaan respon (Faulina, et al., 2011).....	14
Gambar 2.3 Ilustrasi plot kontur <i>response surface</i> (Faulina, et al., 2011).....	14
Gambar 2.4 Ilustrasi permukaan respon orde satu dan garis <i>steepest ascent</i> (Faulina, et al., 2011).....	16
Gambar 2.5 Rancangan <i>simplex</i> untuk (a) 2 dimensi ( $k=2$ ) dan (b) 3 dimensi ( $k=3$ ) (Faulina, et al., 2011) .....	19
Gambar 2.6 Kontur $V\hat{y}_x$ (Faulina, et al., 2011) .....	20
Gambar 3.1 <i>Spray gun</i> .....	22
Gambar 3.2 Kompresor.....	23
Gambar 3.3 <i>Thickness gauge</i> .....	24
Gambar 3.4 Rencana pembuatan spesimen (dalam mm) .....	24
Gambar 4.1 (a) dan (b) <i>Cross Cut Test</i> .....	33
Gambar 4.2 Grafik Respon orde Satu .....	35
Gambar 4.3 Grafik Hasil Respon Orde 1 .....	38
Gambar 4.4 Uji Independensi residual.....	41
Gambar 4.5 Uji Identik Residual .....	41
Gambar 4.6 Uji Kenormalan Residual .....	42

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori Korosifitas Lingkungan.....	10
Tabel 2.2 Kategori dan Umur Proteksi Cat.....	10
Tabel 3.1 Faktor level pengujian.....	27
Tabel 3.2 Rancangan desain eksperimen faktorial.....	28
Tabel 3.3 Rancangan desain eksperimen CCD .....	29
Tabel 3.4 Jadwal rencana penelitian .....	32
Tabel 4.1 Data hasil Penelitian Orde Satu .....	34
Tabel 4.2 Kode Level.....	34
Tabel 4.3 Hasil Penelitian Setelah Dikodekan.....	34
Tabel 4.4 Hasil Estimasi Koefisien Persamaan Model .....	35
Tabel 4.5 <i>Analysis of Variance</i> .....	36
Tabel 4.6 Data Hasil Penelitian Orde Dua.....	36
Tabel 4.7 Kode Level Orde Dua .....	37
Tabel 4.8 Data Hasil Penelitian Setelah Dikodekan .....	37
Tabel 4.9 <i>Analysis of Variance</i> Orde Dua .....	39
Tabel 4.10 Hasil Estimasi Koefisien Persamaan Model Orde Dua .....	39

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur merupakan satu unit kerja yang memiliki peran penting dalam hal daya saing Indonesia terhadap negara lain. Proses pelapisan berhubungan dengan proses manufaktur yang dibutuhkan untuk melapisi semua komponen yang di produksi (Pratama & Kromodiharjo, 2016). Data Badan Pusat Statistik (2018) menyatakan bahwa peningkatan pertumbuhan industri manufaktur tahun 2017 yaitu sebesar 4,74% dari tahun sebelumnya.

Teknologi pelapisan biasanya digunakan pada pengerjaan logam dalam industri manufaktur dan juga pada industri elektrikal. Kendaraan, kapal, dan juga pesawat terbang merupakan produk yang memerlukan pelapisan. Proteksi permukaan yang efektif juga diperlukan dalam sektor pembangunan. Pergesekan permukaan dapat dikurangi dengan pelapisan yang halus, material yang mudah terbakar dapat diselamatkan menggunakan pelapisan pelambat api, pelapisan anti bakteri dapat membantu menyeterilkan permukaan dari pertumbuhan kerang dan alga. Pelapisan dapat meningkatkan isolator pada kabel, lilitan dan material kondensor dalam sektor elektrik. Kelebihan lainnya yaitu pelapisan organik dapat membantu mereduksi polusi yang mengganggu (Goldschmidt & Streiberger, 2007).

Luasnya pandangan mengenai persyaratan pelapisan menjelaskan mengapa pelapisan yang dilakukan sekali perlakuan tidak dapat memuaskan setiap pengerjaan sekaligus dan dengan cara yang sama, terlebih lagi perhitungan dari jumlah material pelapisan bukan merupakan indikasi langsung yang menambah nilai dari komoditi industri, tetapi kita dapat mengambil contoh dari pengaplikasian *film thickness*. Asumsi jumlah produk 28.6 juta ton dapat melapisi area seluas 315.000 km<sup>2</sup> yang merepresentasikan sekitar  $\frac{3}{4}$  luas Jerman (Goldschmidt & Streiberger, 2007).

Goldschmidt (2007), menyatakan bahwa perlakuan pelapisan yang berbeda dengan jumlah produk yang sama dapat menjangkau sekitar 100 kali dari bumi ke bulan

atau mengelilingi dunia sebanyak 600 kali yang berarti diperlukan evaluasi untuk meningkatkan nilai efisiensi dan penyesuaian produk. Jika dapat meningkatkan nilai efektifitas sebesar 20% nilai produksi dari dilakukannya pelapisan dan dapat memperpanjang jangka waktu umur servis, maka dapat meningkatkan pendapatan sebesar 200 milyar euro.

Pelapisan pada sebuah produk merupakan kegiatan yang perlu diperhatikan agar produk dapat terhindar dari kemungkinan korosi atau kerugian-kerugian yang lainnya. Korosi tersebut didapatkan dari hasil *sand blasting* yang menghasilkan celah-celah pada permukaan material untuk memudahkan proses pelapisan. Terbentuknya lembah dan puncak tersebut mengakibatkan pelapisan yang tidak merata dalam setiap permukaannya. Permukaan pada bagian puncak tidak terlapsi dengan baik sehingga memungkinkan terjadinya korosi ketika material terkontaminasi oleh oksigen.

Habibie dan Anwar (2014) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa pelapisan dengan perbandingan pada campuran cat dan tinner mempengaruhi kekentalan, proses pelapisan, konsumsi dan tingkat kekilapan cat (kualitas hasil pengecatan). Jenis pengecatan yang digunakan adalah *spray* (semprot) dengan perbandingan campuran 1:1, 1:0.8, 1:1.5. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa perbandingan campuran cat dan tinner 1:1.5 menghasilkan tingkat kilap terbaik sebesar 92.9%.

Penelitian Khasib dan Wulandari (2017) menyatakan bahwa pelapisan dengan variasi campuran tinner *polyurethane* dan *nitrocellulose* pada cat *polyurethane* dan *nitrocellulose* masing – masing dengan perbandingan 1:1, 1:1.3, 1:1.15 mempunyai tingkat kekilapan yang berbeda – beda. Penggunaan tinner *polyurethane* pada cat *polyurethane* dengan perbandingan campuran 1:1.3 menghasilkan tingkat kekilapan terbaik sebesar 87.4 GU. Penggunaan tinner *nitrocellulose* pada cat *nitrocellulose* dengan perbandingan 1:1.5 menghasilkan kekilapan terbaik sebesar 81.4 GU.

Tujuan dari teknologi pelapisan adalah untuk melindungi, memperindah, dan juga memperkuat dari permukaan yang dilapsi. Lapisan tipis akan terbentuk ketika cat yang dilapsikan ke permukaan objek pelapisan telah mengering (Habibie & Anwar, 2014). Tinner merupakan cairan yang memiliki beberapa unsur diantaranya bahan

pelarut, penambah kilap dan penambah volume yang juga berfungsi sebagai penguap agar cat dapat cepat mengering (Khasib & Wulandari, 2017).

Beberapa cara dalam proses pelapisan diantaranya dengan cara disemprotkan (*spray*), diusapkan (*wiping*), dicelupkan (*dipping*) atau dengan cara yang lain. Hal penting yang berpengaruh terhadap kualitas dari hasil pengecatan adalah proses pencampuran cat dengan tinner yang dilakukan dengan angka perbandingan serta metode yang tepat (Habibie & Anwar, 2014). Masing-masing cara mempunyai keperluan tersendiri tergantung dari produk yang dilapisi.

Perusahaan dihadapkan pada masalah spesifik tentang pengaplikasian cat dengan proses yang konstan yang berarti perlu dilakukannya penelitian tentang beberapa parameter agar dapat mendefinisikan proses pelapisan yang optimal. Penelitian yang dilakukan antara lain dengan memberikan beberapa macam cara pelapisan dengan memvariasikan perbandingan cat dengan tinner masing-masing 40:60, 50:50 dan 60:40. Memvariasikan jarak dari *nozzle* ke permukaan benda masing-masing 10cm, 15cm dan 20cm dan memvariasikan suhu dari pengeringan masing-masing 50<sup>0</sup>C, 55<sup>0</sup>C dan 60<sup>0</sup>C. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh beberapa parameter pada pelapisan agar dapat merumuskan proses pelapisan yang optimal

## 1.2 Rumusan Masalah

Ditinjau dari penjelasan latar belakang diatas, maka dapat ditarik suatu rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh variasi komposisi cat dengan thinner yang digunakan terhadap kualitas dari pelapisan?
- b. Bagaimana pengaruh variasi suhu pengeringan yang digunakan terhadap kualitas dari pelapisan?
- c. Bagaimana pengaruh variasi jarak *nozzle* dengan permukaan benda terhadap kualitas dari pelapisan?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

### 1.3.1 Tujuan

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk merumuskan pelapisan yang optimal dengan memvariasikan volume cat dengan tinner, suhu pengeringan serta jarak *nozzle* terhadap benda kerja.

### 1.3.2 Manfaat

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah:

- a. Dapat mengetahui perbandingan cat dengan tinner yang optimal digunakan pada proses pelapisan.
- b. Dapat mengetahui suhu yang optimal untuk pengeringan.
- c. Dapat mengetahui jarak *nozzle* yang optimal untuk proses pelapisan.
- d. Sebagai pertimbangan untuk perusahaan fabrikasi dalam melakukan proses pelapisan.
- e. Sebagai bahan pertimbangan dalam penelitian tentang pelapisan selanjutnya.

## 1.4 Batasan Masalah

Mengingat tingkat kompleksitas dari permasalahan yang berkaitan dengan variasi dari komposisi tinner dengan cat, dan jarak *nozzle* maka harus dilakukan pembatasan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini. Batasan masalah tersebut antara lain adalah:

- a. Penelitian dilakukan dengan menggunakan material berukuran 100mm x 100mm x 3mm.
- b. Penelitian dilakukan dengan menggunakan cat tipe *nitrocellulose*.
- c. Penelitian dilakukan dengan menggunakan tinner jenis *nitrocellulose*.
- d. Tidak membahas proses manufaktur pembuatan benda kerja.
- e. Tidak membahas bahan penyusun dari cat dan tinner.
- f. Pengolahan data menggunakan metode respon permukaan (RSM) dalam skala laboratorium.

## 1.5 Hipotesis

Tahap hipotesis dalam penelitian ini adalah kombinasi nilai volume cat yang tinggi dalam komposisi cat dengan tinner akan menghasilkan ketebalan yang tinggi, hal tersebut disebabkan material cat yang tidak ikut memuai. Variasi jarak *nozzle* yang semakin dekat akan mengurangi jumlah campuran cat dan tinner yang terbang ke lingkungan. Suhu pengeringan yang semakin tinggi akan membuat semakin banyak komposisi yang memuai.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pelapisan Organik

Menurut Denny dalam bukunya yang berjudul *Principles and Prevention of Corrosion*, pelapisan organik merupakan salah satu metode perlindungan korosi dengan jalan mengisolasi material dari lingkungannya dengan membentuk lapisan pelindung pada permukaan material yang akan dilindungi. Cat pada umumnya memberikan dampak setelah mengalami perubahan dari bahan cair menjadi lapisan tipis padat melalui proses pelapisan dan pengeringan.

#### 2.1.1 Bahan – bahan penyusun pelapisan organik.

- a. Resin / *film forming substances* merupakan zat yang tidak mudah menguap yang dapat berasal dari bahan sintetik atau dari alam. Bahan ini apabila telah mengering akan membentuk lapisan pelindung yang tipis dan kontinyu pada permukaan material yang dilindungi.
- b. *Additive* berfungsi sebagai bahan pelengkap yang digunakan untuk meningkatkan properti dari cat dalam hal kekuatan, ketahanan dan aplikasi saat melakukan pelapisan.
- c. *Pigment* merupakan padatan halus atau bubuk yang ditambahkan kedalam cat. Fungsi pigmen yaitu memberi karakter khas pada penampilan cat, memberi nilai tambah pada karakter kekuatan cat (*protective*), meningkatkan sifat mekanik dari material (*reinforcing*). Secara umum pigmen dibagi menjadi dua kategori, yang pertama pigmen organik yaitu pigmen yang terbentuk dari senyawa – senyawa organik. Kedua yaitu pigmen anorganik yang terbentuk dari mineral – mineral atau garam logam yang terbentuk secara alami. *Extender* ditambahkan kedalam cat dengan tujuan menurunkan harga dengan menambah volume.
- d. *Solvent* yang merupakan suatu zat yang digunakan sebagai pelarut resin sehingga dapat mempercepat proses pengeringan dari pelapisan yang dilakukan serta dapat mengurangi viskositas dari resin.



- e. *Plasticizer* yang merupakan zat yang ditambahkan untuk meningkatkan elastisitas dari bahan pelapis.

## 2.1.2 Cara – cara pembuatan zat pelapis.

- a. *Varnishes* merupakan resin yang dilarutkan dalam suatu *solvent* yang bila mengering akan membentuk lapisan yang mengkilap pada permukaan yang dilapisi.
- b. *Paints* yang dapat diperoleh dengan cara menggabungkan pigmen, *filler* dan *plasticizer* pada resin yang dilarutkan dengan menggunakan *solvent*.
- c. *Enamels* yang dibuat dengan mencampurkan pigmen dengan *varnishes*. *Enamels* memiliki perbedaan dengan *paint* dimana enamels mengandung lebih sedikit *filler*, serta warna dan kilau yang lebih baik.

## 2.1.3 Fungsi lapisan pada material.

- a. *Primer coat* yang berfungsi sebagai adeshi pada permukaan material, pembentuk ikatan dengan *intermediate coat*, dan mengisolasi dari lingkungan.
- b. *Intermediate coat* yang berfungsi sebagai penebalan untuk peningkatan proteksi, ketahanan kimia, ketahanan terhadap uap air, meningkatkan tahanan listrik pada lapisan, serta menjadi adhesi antara *primer coat* dan *top coat*.
- c. *Top coat* yang berfungsi sebagai penghalang awal terhadap lingkungan, ketahanan terhadap reaksi kimia, air dan cuaca, ketangguhan dan ketahanan aus bagi permukaan luar serta meningkatkan nilai estetika.

## 2.1.4 Mekanisme proteksi dari lapisan.

- a. *Barrier* yang berfungsi untuk mencegah kandungan air dan oksigen mencapai pada permukaan material.
- b. *Inhibitor* yang berfungsi untuk menghambat proses korosi.
- c. *Sacrificial* yang berfungsi sebagai komponen pelapisan yang terkorosi menggantikan material yang dilindungi.

## 2.2 Tahap – Tahap *Surface Preparation*

Menurut Perusahaan Cat JOTUN pada buku *Application Guide*, kualitas persiapan permukaan yang dibutuhkan dapat bervariasi tergantung pada area penggunaan, daya tahan yang diharapkan dan spesifikasi proyek. Ada beberapa tahap yang harus dilakukan sebelum melakukan proses pelapisan, diantaranya:

### 2.2.1 Persiapan permukaan

Saat mempersiapkan permukaan baru untuk dilapisi, dilakukan perlakuan mula untuk menghilangkan semua kontaminasi yang dapat mengganggu proses pelapisan dan menyiapkan substrat untuk produk selanjutnya. Langkah selanjutnya adalah memeriksa permukaan dari adanya hidrokarbon dan kontaminasi lainnya, dan dapat dihilangkan dengan deterjen alkali, kemudian mencuci daerah yang dirawat dengan menggunakan air bersih. Pelarut cat (tinner) tidak boleh digunakan untuk membersihkan permukaan karena beresiko menyebabkan penyebaran kontaminasi hidrokarbon terlarut.

Membersihkan area kontaminasi kecil seperti tanda dari spidol dapat menggunakan penghisap cat, selain itu juga dapat menggunakan kain katun putih. Setelah melakukan pembersihan pada area kontaminasi, kain bekas yang digunakan untuk membersihkan permukaan ditempatkan ke dalam air. Persiapan dan pelapisan permukaan biasanya dimulai hanya setelah semua pengelasan, penguraian, pengangkatan tepi tajam, percikan las dan perawatan lasan selesai. Semua pekerjaan panas diharuskan selesai sebelum pelapisan dimulai.

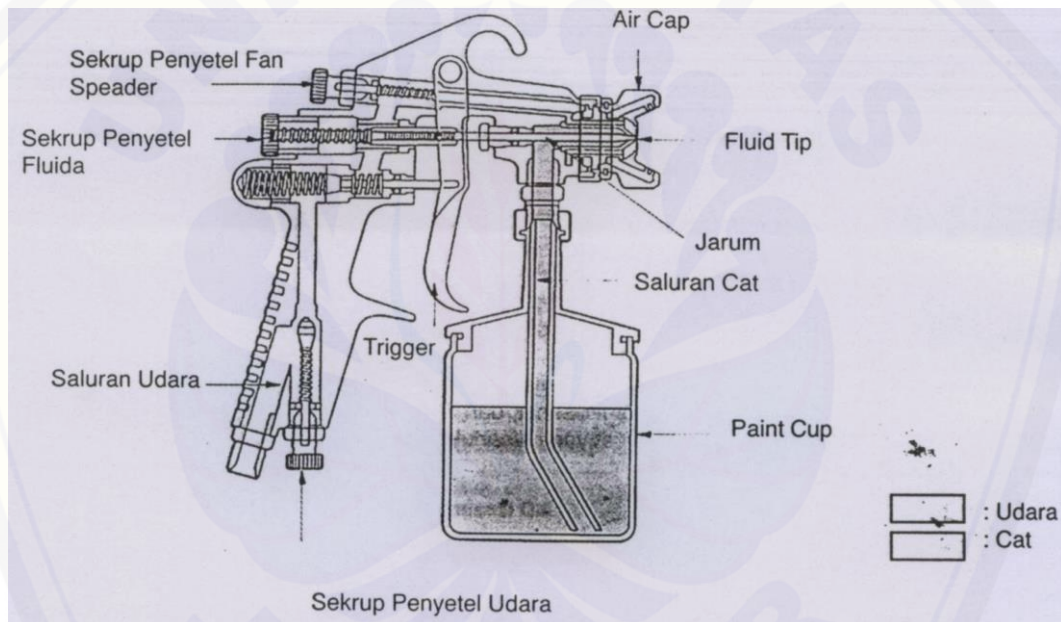
## 2.3 Aplikasi pelapisan

Aplikasi pelapisan merupakan tahap yang dilakukan untuk membentuk pelapisan pada permukaan material yang akan dilindungi. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk membentuk pelapisan, diantaranya:

- a. *Brushing* merupakan teknik pelapisan dengan menggunakan kuas sehingga pengerjaan relatif lambat. Proses ini biasa dilakukan untuk pemberian lapisan primer untuk pengerjaan benda yang kecil, bagian benda yang kompleks, atau pada bagian yang tidak bisa dilakukan dengan teknik lain. Keuntungan dari

teknik ini dapat mengisi pori dari celah celah kecil. Kerugiannya lapisan yang terbentuk mempunyai tebal yang tidak seragam.

- b. *Rolling* merupakan teknik pelapisan yang paling banyak digunakan untuk permukaan yang luas dan datar dan tidak memerlukan kehalusan dan keseragaman. Teknik ini kurang baik bila dilakukan untuk membentuk lapisan primer
- c. *Spraying* merupakan Teknik pelapisan yang lebih praktis dan dapat menghasilkan permukaan yang lebih halus dan seragam. Pengaplikasian *spray* juga dapat digunakan untuk mengatur tekanan kompresor dan juga diameter *nozzle*. Berikut merupakan gambar bagian sprayer:



Gambar 2.1 Gambar bagian sprayer (KlikTeknik, 2016)

## 2.4 Standar Pelapisan

Berdasarkan ISO 12944-5 tentang pelapisan, ketebalan cat minimal yang diijinkan untuk material baja karbon rendah pada *primer coat* adalah 40  $\mu\text{m}$  dan jumlah lapisan 1 layer. Pelapisan itu termasuk kedalam kategori korosifitas C2 dengan rata – rata kehilangan berat sebesar 10 sampai dengan 200  $\text{g}/\text{m}^2$  dan kehilangan tebal sebesar 1.3 sampai dengan 25  $\mu\text{m}$  pertahunnya. Contoh tipikal lingkungan dari kategori C2 adalah atmosfer dengan tingkat polutan yang rendah, umumnya daerah pedesaan. Standar pelapisan tersebut termasuk dalam kategori

umur proteksi pendek (perkiraan keawetan rendah) dengan durasi sekitar 2 sampai dengan 5 tahun. Tabel kategori korosifitas lingkungan dan tabel umur proteksi cat dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Kategori Korosifitas Lingkungan

Kategori korosifitas	Kehilangan berat/tebal per satuan permukaan (setelah 1 tahun terekspos)				Contoh tipikal lingkungan
	Baja karbon-rendah		Zink		
	Kehilangan berat (g/m <sup>2</sup> )	Kehilangan tebal (µm)	Kehilangan berat (g/m <sup>2</sup> )	Kehilangan tebal (µm)	
C1 – sangat rendah	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-
C2 – rendah	> 10 s/d 200	> 1,3 s/d 25	> 0,7 s/d 5	> 0,1 s/d 0,7	Atmosfer dengan tingkat polutan yang rendah, umumnya daerah pedesaan
C3 - menengah	> 200 s/d 400	> 25 s/d 50	> 5 s/d 15	> 0,7 s/d 2,1	Lingkungan perkotaan dan industri dengan polusi sulfur dioksida, area pantai dengan tingkat salinitas rendah
C4 - tinggi	> 400 s/d 650	> 50 s/d 80	> 15 s/d 30	> 2,1 s/d 4,2	Lingkungan industri dan pantai dengan tingkat salinitas menengah
C5-T – sangat tinggi (industrial)	> 650 s/d 1 500	> 80 s/d 200	> 30 s/d 60	> 4,2 s/d 8,4	Area industri dengan kelembaban tinggi dan lingkungan atmosfer yang agresif
C5-M – sangat tinggi (laut/pantai)	> 650 s/d 1 500	> 80 s/d 200	> 30 s/d 60	> 4,2 s/d 8,4	Area pantai dan pertambangan dengan tingkat salinitas tinggi

Tabel 2.2 Kategori dan Umur Proteksi Cat

No	Kategori umur proteksi	Umur proteksi cat (tahun)
1	Pendek (perkiraan keawetan rendah)	2 s/d 5
2	Sedang (perkiraan keawetan menengah)	5 s/d 15
3	Panjang (perkiraan keawetan tinggi)	Lebih dari 15

## 2.5 Logam

Menurut Bahasa Yunani, logam merupakan sebuah material yang biasanya tidak tembus cahaya, memiliki konduktivitas termal dan listrik yang baik. Pada umumnya logam dapat ditempa atau ditekan permanen hingga berubah bentuk tanpa adanya retak atau patah. Logam juga bersifat *fusible* atau dapat dilelehkan. Terdapat 91 unsur dari 118 dalam tabel periodik merupakan logam, sisanya merupakan metaloid, non logam dan beberapa diantaranya menunjukkan sifat logam dan non loga sekaligus.

Sifat mekanis dari logam meliputi duktilitas, yang merupakan kapasitas mereka dalam melakukan deformasi plastis sedangkan deformasi elastis dapat balik pada logam dijelaskan pada hukum hooke untuk memulihkan gaya. Gaya yang lebih besar dari gaya elastis dapat menyebabkan terjadinya deformasi permanen.

Perubahan tersebut dapat terjadi karena suatu gaya yang diaplikasikan pada benda kerja. Gaya tersebut dapat berupa gaya tekan, gaya tarik, gaya pemotongan, dan gaya pembengkokan atau torsi. Perubahan suhu juga dapat mempengaruhi struktur logam sehingga dapat terjadi dislokasi garis, kesalahan penumpukan, dan twins baik dalam padatan kristal atau non kristal (Fontana, 1910).

## 2.5.1 Besi

Besi merupakan logam yang berasal dari hasil tambang yang banyak digunakan untuk pembangunan dan pembuatan produk karena limpahan besi di bumi cukup banyak, pengolahannya relatif murah dan mempunyai sifat – sifat yang menguntungkan. Salah satu kelemahan besi adalah mudahnya besi dalam terjadinya korosi. Korosi dianggap merugikan karena dapat mengurangi umur dari material besi. Simbol untuk besi pada unsur periodik adalah Fe (Fontana, 1910).

## 2.5.2 Baja Karbon

Baja merupakan logam paduan antara besi (Fe) sebagai bahan utama dengan karbon ( C ) sekitar 0.2% hingga 2.1%, kurang dari itu maka material tersebut masih disebut sebagai besi. Selain karbon, beberapa kandungan yang ada antara lain mangan (Mn), fosfor (P), sulfur (S), silicon (Si), dan sebagian kecil dari oksigen (O), nitrogen (N), dan aluminium (Al). Untuk meningkatkan sifat mekanis biasanya dilakukan penambahan nikel (Ni), boron (B), molybdenum (Mo), titanium (Ti), vanadium (V), krom (Cr) dan niobium (Nb). Fungsi karbon dalam baja adalah untuk bahan peneras dan meningkatkan kekuatan tarik dari baja sehingga dapat mencegah terjadinya pergeseran atom - atom dalam baja. Hal tersebut dapat terjadi karena karbon dapat mengisi ruang - ruang kosong antar atom besi pada ikatan logam sehingga ikatan menjadi lebih rapat dan keras (Fontana, 1910). Berdasarkan pengklasifikasian baja secara umum beserta penjelasannya menurut “*Handbook of Comparative World Steel Standards*” (ASTM DS67B) adalah sebagai berikut:

- a. Baja Karbon Rendah ( <0.2% karbon ) biasanya digunakan untuk *automobile body panels, tin plate, dan wire product* yang membutuhkan keuletan tinggi.
- b. Baja Karbon Sedang (0.2 – 0.5% karbon ) biasanya digunakan dalam kondisi hal *quench dan tempered* dan banyak digunakan sebagai *shaft, axle, gear, crankshaft, coupling dan forging*.

- c. Baja Karbon Tinggi ( $>0.5\%$  karbon) banyak digunakan pada material spring dan *high-strength wire*.

Selain pembagian berdasarkan persen kadar karbon diatas, masih terdapat baja karbon dengan kadar mangan yang tinggi (*High Manganese Carbon Steel*) yaitu sekitar 1.1 – 1.4 % Mn. Baja jenis ini banyak digunakan dalam aplikasi rel kereta api.

### 2.5.3 *Stainless Steel* (baja tahan karat)

Baja merupakan logam yang mempunyai sifat mekanis yang baik, tetapi baja akan menjadi rapuh ketika terkena korosi. Pada baja biasanya akan ditambahkan dengan kromium (Cr) minimal 11% dari total bahan untuk mencegah terjadinya korosi. Penambahan kromium dapat membentuk permukaan logam yang lebih keras karena sifat kromium yang mengandung karbon. Baja tahan karat ini biasanya digunakan untuk bahan pembuatan peralatan dapur atau segala jenis bahan yang berhubungan dengan makanan (Fontana, 1910).

## 2.6 Korosi

Menurut fontana pada bukunya yang berjudul *Corrosion Engineering*, menjelaskan bahwa korosi didefinisikan sebagai perusak yang memperburuk keadaan sebuah material karena reaksi dengan lingkungan sekitarnya. Korosi dapat terjadi cepat atau lambat. *Stainless steel* dengan kepekaan 18-8 dapat dengan parahnya terserang dalam hitungan jam oleh asam polythionic. Korosi telah banyak didefinisikan dalam berbagai cara. Satu metode membagi korosi menjadi dua bagian yaitu korosi pada suhu rendah dan korosi pada suhu tinggi. Beberapa memisahkan korosi dalam kombinasi langsung (oksidasi) dan korosi elektrokimia. Pengklasifikasian yang lebih tepat adalah korosi basah dan korosi kering.

### 2.6.1 Korosi basah

Korosi basah umumnya terjadi ketika bertemu dengan cairan. Kejadian ini biasanya melibatkan solusi *aqueous* atau elektrolit. Contoh korosi yang paling umum adalah korosi besi dengan air (Fontana, 1910).

2.6.2 Korosi kering

Korosi kering terjadi tanpa melibatkan cairan, tetapi melibatkan uap dan gas yang menyebabkan terjadinya korosi. Korosi ini umumnya terjadi pada temperatur yang tinggi (Fontana, 1910).

2.7 Desain Eksperimen

Desain eksperimen merupakan metode statistik yang dapat digunakan untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas produk. *Response Surface Methodology* (RSM) atau metode respon permukaan adalah sekumpulan metode-metode matematika dan statistika yang digunakan dalam pemodelan dan analisis. Tujuan dari metode respon surface adalah untuk melihat pengaruh beberapa variabel kuantitatif terhadap suatu variabel respon dan juga dapat mengoptimalkan variabel respon tersebut (Montgomery, 2001). Sebagai contoh, akan dicari level-level dari jarak ( $x_1$ ) dan diameter ( $x_2$ ) yang dapat mengoptimalkan suatu hasil pelapisan ( $y$ ). hubungan variabel-variabel tersebut dapat dituliskan dalam sebuah persamaan sebagai berikut:

$$y = f(x_1 + x_2) + \epsilon \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$f$  = fungsi

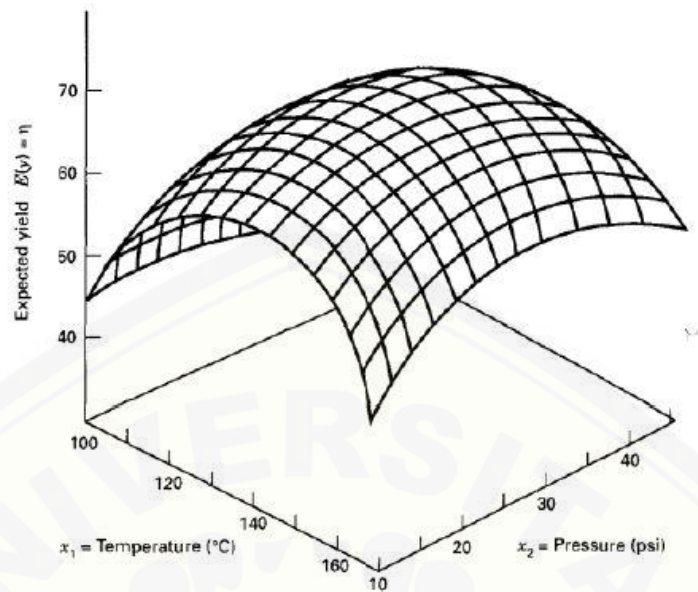
$x_1$  = jarak

$x_2$  = diameter

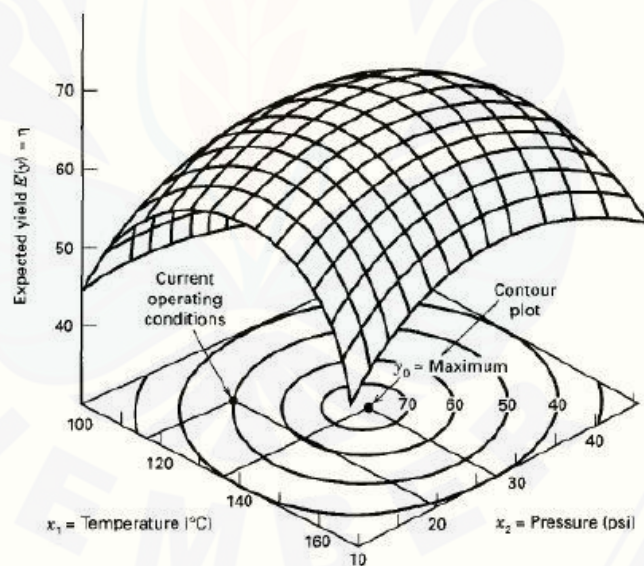
$\epsilon$  = error pengamatan pada respon  $y$

Jika nilai harapan respon dituliskan  $E(y) = f(x_1 + x_2) = \eta$  , maka  $\eta = f(x_1 + x_2)$  mempresentasikan sebuah permukaan yang disebut permukaan respon (Faulina, et al., 2011).

Umumnya permukaan respon berupa sebuah grafik yang membantu visualisasi dari bentuk permukaan plot menggunakan kontur dari permukaan respon. Pada kontur tersebut, garis respon yang konstan berada pada permukaan datar ( $x_1, x_2$ ), sedangkan garis respon yang lain berada pada permukaan lengkung diatasnya.



Gambar 2.2 Ilustrasi plot permukaan respon (Faulina, et al., 2011)



Gambar 2.3 Ilustrasi plot kontur *response surface* (Faulina, et al., 2011)

Bentuk hubungan antara variabel respon dengan variabel independen yang tidak dapat diketahui seringkali menjadi permasalahan umum pada metode respon permukaan. Langkah pertama dalam metode respon permukaan adalah mencari bentuk hubungan antara respon dengan beberapa variabel independen melalui pendekatan yang sesuai. Hubungan linear merupakan bentuk hubungan yang



dicobakan pertama kali karena merupakan hubungan yang paling sederhana (*low order polynomial*). Jika ternyata bentuk hubungan antara respon dengan variabel independen adalah fungsi linier, pendekatan fungsinya disebut *first-order model*, seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon_i \dots \dots \dots (2.2)$$

Jika bentuk hubungannya merupakan kuadrat, maka untuk pendekatan fungsinya digunakan derajat polynomial yang lebih tinggi yaitu *second-order model*.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \dots + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \dots \dots \dots (2.3)$$

Hampir semua permasalahan dalam metode respon permukaan menggunakan salah satu atau kedua model diatas. Setelah diperoleh bentuk hubungan yang paling sesuai, langkah selanjutnya adalah mengoptimalisasi hubungan tersebut. jika permukaan yang paling sesuai dicari melalui pendekatan yang cukup, maka hasil analisis ini akan mendekati fungsi yang sebenarnya. Secara garis besar, langkah-langkah dalam metode permukaan respon adalah merancang percobaan, membuat model dan melakukan optimalisasi (Faulina, et al., 2011).

**2.8 Rancangan Percobaan Optimal**

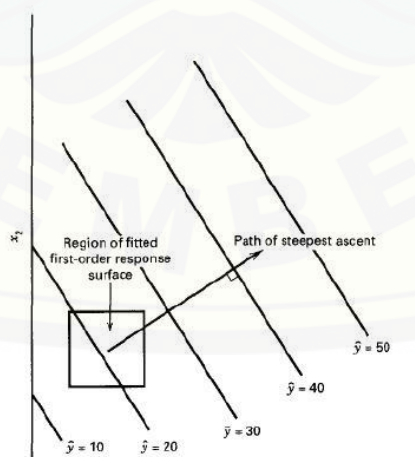
Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan jika melakukan analisis menggunakan metode respon permukaan. Hal pertama yang dilihat adalah bentuk persamaannya apakah fungsi berorde satu atau fungsi berorde dua. Setelah melihat fungsi yang terbentuk, selanjutnya yang perlu dilihat adalah sifat percobaan yang akan dilakukan, apakah *sequential* atau *non sequential*. Kedua hal tersebut sangat berpengaruh terhadap prosedur perancangan yang akan dibuat. Untuk fungsi berorde satu, rancangan percobaannya cukup menggunakan  $2^k$  faktorial, dimana setiap perlakuan memiliki dua level perlakuan. Perbandingan rancangan respon permukaan orde satu dan orde dua adalah rancangan yang berorde satu membutuhkan lebih sedikit unit percobaan yaitu sebanyak  $2^k$  unit percobaan, dimana  $k$  adalah banyaknya faktor perlakuan. Permukaan respon yang berorde dua dapat menggunakan rancangan *central composite design* (CCD) atau *box-Behnken*

*design* yang memerlukan jumlah unit percobaan lebih banyak daripada rancangan faktorial respon permukaan berorde satu.

## 2.9 Metode Steepest Ascent

Salah satu cara untuk mencari titik optimal pada permukaan respon adalah dengan menggunakan cara satu faktor-satu faktor. Dimisalkan jika  $x_2$  tetap sedangkan  $x_1$  berubah-ubah, maka akan dicari  $x_1$  yang akan membuat  $y$  optimum atau hampir optimum. Setelah ditemukan nilai  $x_1$  dan  $x_2$ , eksperimen dapat dilakukan untuk menentukan titik optimum. Tujuan dari para peneliti adalah mencari titik optimum yang berada di sekitar titik optimum sebenarnya, menggunakan metode yang sederhana dan efisien.

Ketika dugaan titik optimum berada jauh dari nilai sebenarnya, maka diasumsikan bahwa model orde satu merupakan pendekatan yang cukup baik untuk menduga permukaan yang sebenarnya. Metode *steepest ascent* bekerja berurutan sepanjang permukaan respon yang bergerak secara tepat mengarah pada peningkatan respon sampai pada titik optimum. Jika yang diinginkan adalah mencari titik minimum, maka metode yang digunakan adalah metode *steepest descent*. Metode ini tidak menentukan nilai optimum tertentu, melainkan hanya mengarahkan pada daerah sekitar nilai optimum tersebut (Faulina, et al., 2011).



Gambar 2.4 Ilustrasi permukaan respon orde satu dan garis *steepest ascent* (Faulina, et al., 2011)

**2.10 Karakteristik Respon Permukaan**

Dimisalkan ingin mendapat nilai  $x_1, x_2, \dots, x_k$  yang mengoptimalkan respon dan nilai-nilai optimal ini ada, maka  $y$  pada persamaan (2) merupakan himpunan yang beranggotakan  $x_1, x_2, \dots, x_k$  didapat turunan parsialnya:

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} = \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} = \dots = \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_k} = 0 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dalam notasi matriks, persamaan (2.4) dapat dinyatakan sebagai:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + x'b + x'Bx \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana,

$$x' = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_3 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2 & \dots & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ \hat{\beta}_{12}/2 & \hat{\beta}_{22} & \dots & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\beta}_{1k}/2 & \hat{\beta}_{2k}/2 & \dots & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.6)$$

$b$  merupakan vector koefisien regresi orde pertama, sedangkan  $B$  adalah matriks orde kedua berukuran  $k \times k$  yang elemen diagonal utamanya merupakan koefisien kuadratik murni  $\hat{\beta}_{ij}$  dan elemen-elemen segitiga atasnya adalah  $1/2$  dari koefisien kuadratik campuran ( $\hat{\beta}_{ij}, i \neq j$ ). Turunan dari  $\hat{y}$  terhadap vektor  $x$  adalah sama dengan 0, sehingga dinyatakan dengan:

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x} = b + Bx = 0 \dots\dots\dots (2.7)$$

Titik-titik stationer yang merupakan solusi dari persamaan diatas adalah:

$$x_0 = -\frac{1}{2} B^{-1}b \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana  $x_0^T = (x_{1.0}, x_{2.0}, \dots, x_{k.0})$ . substitusi persamaan (2.8) ke persamaan (2.5) diperoleh nilai respon optimal yang diprediksikan terjadi pada titik-titik stationer:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \frac{1}{2} x_0'b \dots\dots\dots (2.9)$$

karakteristik permukaan respon digunakan untuk menentukan jenis titik stasioner, apakah maksimum, minimum atau titik pelana. Titik stasioner dapat diidentifikasi dengan mentransformasi fungsi respon dari titik asal  $x(0,0,\dots,0)$  ke titik stasioner  $x_0$  dengan sekaligus merotasikan sumbu koordinatnya, sehingga dihasilkan fungsi respon sebagai berikut:

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 w_1^2 + \lambda_2 w_2^2 + \dots + \lambda_k w_k^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana:

$w_i$  = variabel independent baru hasil transformasi

$\hat{y}_0$  = harga taksiran  $y$  pada titik stasioner  $x_0$

$\lambda_i$  = konstanta yang merupakan *eigen value* dari matrik  $B, I = 1,2,\dots,k$

Karakteristik dari permukaan respon ditentukan oleh harga  $\lambda_i$ . Ketika nilainya semua positif maka  $x_0$  adalah titik minimum, sedangkan jika semua negatif maka  $x_0$  merupakan titik maksimum, jika harganya berbeda tanda diantara harga  $\lambda_i$ , maka  $x_0$  merupakan titik pelana.

**2.11 Rancangan Percobaan yang Sesuai untuk Respon Permukaan**

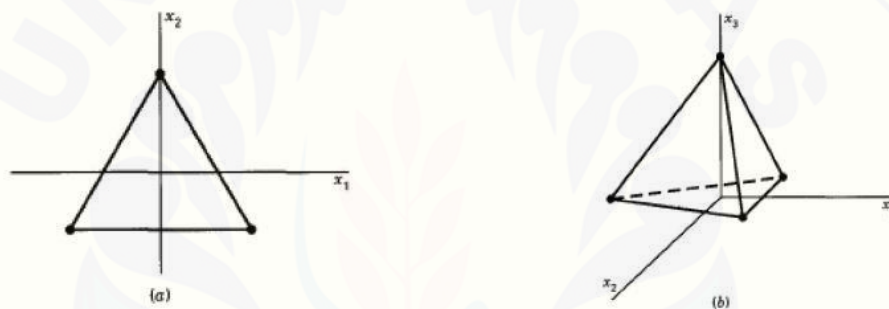
Menurut (Faulina, et al., 2011), beberapa kriteria dalam pemilihan rancangan percobaan yang sesuai untuk metode respon permukaan, diantaranya:

1. Memberikan gambaran distribusi dan informasi yang jelas berdasarkan data pada seluruh daerah yang difokuskan
2. Memungkinkan untuk mencari model yang memenuhi kelayakan model
3. Memungkinkan untuk membuat blok-blok dalam percobaan
4. Memungkinkan untuk membuat rancangan-rancangan yang mempunyai orde lebih tinggi
5. Memberikan pendugaan error dalam rancangan
6. Memberikan pendugaan koefisien model yang tepat
7. Memberikan pendugaan varians yang baik
8. Bersifat *robust* terhadap *outliers* maupun data hilang
9. Tidak membutuhkan unit percobaan yang besar
10. Tidak membutuhkan terlalu banyak level dalam variabel independent

11. Memberikan kemudahan dalam perhitungan parameter model

2.11.1 Rancangan Model Orde Pertama

Rancangan *orthogonal first-order* merupakan rancangan percobaan yang sesuai untuk model orde pertama dimana rancangan factorial dan fraksional  $2^k$  termasuk didalamnya. Kode untuk level-level rendah dan tinggi dalam  $k$  faktor dibuat dalam rancangan ini, misalnya  $\pm 1$ . Selain kedua rancangan tersebut, ada pula rancangan yang termasuk dalam *orthogonal first-order*, yaitu rancangan *simplex*. Rancangan ini biasanya digambarkan dalam suatu bangun ruang dengan  $k+1$  titik dalam dimensi  $k$ , dengan demikian untuk  $k=2$  rancangan *simplex* menjadi segitiga sama sisi dan untuk  $k = 3$ , menjadi tetrahedral seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Rancangan *simplex* untuk (a) 2 dimensi ( $k=2$ ) dan (b) 3 dimensi ( $k=3$ ) (Faulina, et al., 2011)

2.11.2 Rancangan yang Sesuai untuk Model Orde Kedua

Menurut (Faulina, et al., 2011), nilai optimum diperoleh dari sebuah model yang memenuhi dan mengandung kurvatur yang pada umumnya merupakan model orde kedua:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \dots \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \dots \dots \dots (2.11)$$

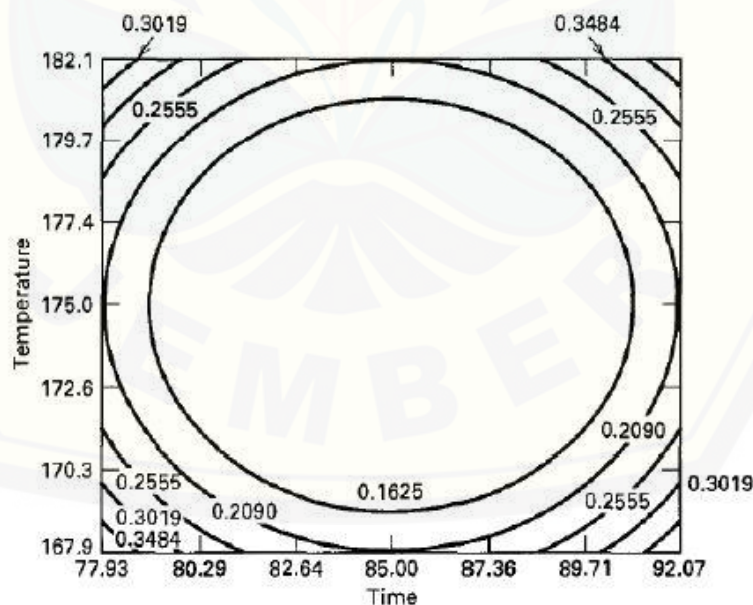
Kelompok rancangan yang paling banyak digunakan untuk model orde kedua adalah CCD atau *central-composite design*. Pada umumnya CCD terdiri atas factorial  $2^k$  (fraksional faktorial dengan resolusi V). CCD diterapkan melalui percobaan sekuensial. Percobaan tersebut tidak lain merupakan faktorial  $2^k$  yang telah melalui model orde pertama namun memperlihatkan ketidaksesuaian model

(*lack of fit*). Titik-titik aksial ditambahkan ke dalam percobaan untuk memenuhi titik-titik kuadrat dalam model. Untuk memperoleh model orde kedua akan sesuai apabila dicari menggunakan rancangan CCD. Terdapat dua parameter dalam rancangan ini yang harus diketahui terlebih dahulu oleh peneliti, yang pertama yaitu jarak titik aksial  $\alpha$  dari pusat rancangan dan berapa banyak *center point*.

Model orde kedua yang disusun harus memiliki kemampuan untuk menduga daerah di sekitar titik optimal. Dugaan yang diperoleh dari model orde kedua dapat dicapai hanya jika model memiliki varians yang konsisten dan konstan untuk nilai dugaan respon pada titik  $x$  tertentu. Persamaan berikut menggambarkan varians dari nilai dugaan respon pada nilai  $x$  tertentu:

$$V[\hat{y}(x)] = \sigma^2 x^T (X^T X)^{-1} x \dots\dots\dots (2.12)$$

Metode respon permukaan pada orde kedua juga harus memenuhi *rotabilitas*, yang berarti nilai  $V[\hat{y}(x)]$  harus sama untuk semua nilai  $x$  yang jaraknya sama dari pusat rancangan. Varians untuk nilai dugaan respon merupakan nilai konstan yang digambarkan seperti bola.



Gambar 2.6 Kontur  $V[\hat{y}(x)]$  (Faulina, et al., 2011)

# UPT Perpustakaan Universitas Jember

Rotatibilitas merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan CCD sperik. CCD sperik masuk akal untuk digunakan jika rancangan kita melibatkan daerah ketertarikan berbentuk bola, tetapi memiliki CCD bukanlah sebuah keharusan. CCD sperik dapat dicari pendekatannya dengan menetapkan  $\alpha$  dari sudut pandang dugaan varians untuk CCD sehingga  $\alpha = \sqrt{k}$ .



## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

#### 3.1.1 Waktu penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian pada bulan April 2018 sampai dengan selesai.

#### 3.1.2 Tempat penelitian

- a. Laboratorium Kerja Logam Fakultas Teknik Universitas Jember.
- b. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- c. Laboratorium Pengecatan Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan untuk proses penelitian ini adalah:

1. *Spray gun* seri F75 dengan spesifikasi:

*Pressure* : 0.25 – 4.5 MPa

*Spraying distance* : 0 – 200 mm

*Diameter nozzle* : 1 mm



Gambar 3.1 *Spray gun*



2. Kompresor dengan spesifikasi:

<i>Input power</i>	: 550 watt
Voltase	: 220 volt
<i>Pressure</i>	: 0.7 MPa
Kapasitas tangka	: 25 liter
Kapasitas aliran udara	: 145 liter / menit
Kapasitas mesin	: 2800 rpm



Gambar 3.2 Kompresor

3. Alat ukur ketebalan cat dengan spesifikasi:

<i>Measuring range</i>	: 0 – 1250 $\mu\text{m}$
Tampilan layar	: 4 digit, 10 mm LCD
Resolusi	: 0.1 $\mu\text{m}$
Akurasi	: 2.5 $\mu\text{m}$



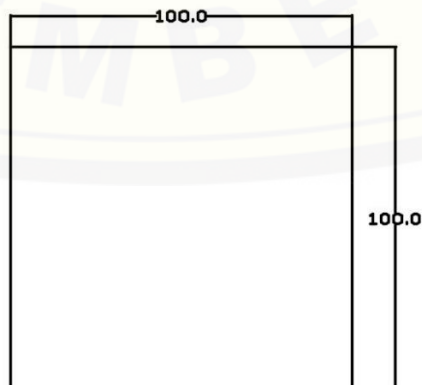
Gambar 3.3 *Thickness gauge*

4. Oven
5. Regulator kompresor
6. Spidol
7. Gerinda tangan
8. Jangka sorong
9. Penggaris
10. *Tape*
11. *Tool cut*

### 3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada proses penelitian ini adalah:

1. Spesimen dengan ukuran 100 x 100 x 3 (mm) dengan material plat ST 37



Gambar 3.4 Rencana pembuatan spesimen (dalam mm)

2. Cat nitrocellulose (NC)
3. Tinner *nitrocellulose* (NC)

### 3.3 Metode Penelitian

Beberapa tahapan penelitian yang akan dilakukan, diantaranya:

1. Memotong pelat benda kerja yang digunakan sebagai bahan pengujian dengan ukuran 100mm x 100mm x 3mm sebanyak 20 lembar.
2. Membersihkan permukaan benda kerja dengan menggunakan ampelas dan kain yang dibilas menggunakan air.
3. Menghubungkan *spray gun* dengan kompresor menggunakan selang udara.
4. Membersihkan saluran *spray gun* dengan menggunakan tinner.
5. Lakukan pencampuran cat dan tinner sesuai dengan desain eksperimen yang telah ditentukan.
6. Mempersiapkan cat yang telah dicampur dengan tinner ke dalam tangki cat.
7. Posisikan *nozzle* sejajar dengan benda uji dengan sudut  $90^0$ .
8. Lakukan pengecatan dengan mengatur variasi jarak yang telah ditentukan.
9. Lakukan pengulangan prosedur sesuai dengan desain eksperimen yang telah dibuat.
10. Setelah melakukan pengecatan, lakukan pengeringan menggunakan oven dengan suhu yang telah ditentukan
11. Langkah selanjutnya dengan melakukan *cross cut test* untuk mengetahui kekuatan lekat dari cat tersebut.
12. Siapkan alat ukur ketebalan cat, tabel hasil penelitian dan juga alat tulis.
13. Sebelum melakukan pengambilan data, kalibrasi terlebih dahulu alat ukurnya.
14. Setelah mengukur ketebalan cat, catat hasil pengukuran kedalam tabel data hasil penelitian.
15. Setelah mendapatkan data hasil penelitian, lakukan pengolahan data menggunakan metode respon permukaan.
16. Analisa grafik yang dihasilkan dari pengolahan data menggunakan software minitab 16.
17. Memberikan kesimpulan dari data hasil penelitian yang sudah dilakukan.

### 3.4 Tahap Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah merupakan tahap awal dari pelaksanaan proses penelitian yang bertujuan untuk mengetahui berbagai jenis permasalahan yang nantinya dapat digunakan sebagai topik dalam penelitian, tahap ini meliputi:

1. Studi literatur

Tujuan dari melakukan studi literatur adalah untuk memperoleh informasi sebanyak-banyaknya yang dapat digunakan sebagai acuan untuk melaksanakan penelitian yang baru dari penelitian sebelumnya. Sumber dapat bersasal dari buku, jurnal maupun sumber lainnya yang relevan dan dapat dipertanggungjawabkan sumbernya.

2. Perumusan masalah dan penentuan tujuan penelitian

Berkaitan dengan kondisi yang ada di dalam perusahaan yang bergerak dalam bidang industri manufaktur dan juga *body repair* dari kendaraan akan sangat memerlukan teknologi pelapisan untuk memproteksi dari korosi dan juga mempercantik tampilan luar dari produknya. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dari hasil pelapisan diantaranya tipe dari spray gun, tekanan udara dari kompresor, bahan pencampur cat (tinner), jarak antara spray gun dengan permukaan benda kerja, profil dari kekasaran permukaan dan juga kondisi lingkungan seperti angin dan temperatur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh dari beberapa parameter pelapisan dan disisi lain dapat mengetahui proses pelapisan yang optimal. Selanjutnya dilakukan tahap analisis data yang diharapkan dapat memberikan variasi vaktor yang optimal sehingga dapat membentuk pelapisan yang baik. Semakin tebal dari lapisan cat pada benda kerja maka akan semakin baik melindungi benda kerja dari laju korosi.

3. Penetapan variabel faktor dan variabel respon

Banyak faktor yang mempengaruhi proses pelapisan untuk menghasilkan ketebalan yang optimal. Terdapat dua jenis variabel, diantaranya:

- a. Variabel proses (variabel bebas)

Variabel bebas merupakan variabel yang dipilih peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diamati dan tidak dipengaruhi oleh variabel

lain. nilai dari variabel bebas dapat dirubah, ditentukan dan dikendalikan sesuai dengan pertimbangan dan tujuan dari penelitian. Variabel yang dipilih untuk divariasikan adalah variasi perbandingan cat dengan tinner, variasi suhu pengeringan dan jarak penyemprotan.

b. Variabel respon (variabel tak bebas)

Variabel respon adalah variabel yang diamati dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh pada variabel bebas . Variabel terikat pada penelitian ini adalah ketebalan cat dari hasil pelapisan.

### 3.5 Rancangan Penelitian

Variabel bebas yang akan digunakan pada penelitian yaitu:

1. Variasi komposisi cat dengan tinner 40:60, 50:50 dan 60:40.
2. Variasi suhu pengeringan  $50^{\circ}$  ,  $55^{\circ}$ , dan  $60^{\circ}$ .
3. Variasi jarak *nozzle* dengan permukaan benda kerja 10, 15 dan 20 cm.

Setelah menentukan variabel bebas, buat tabel untuk memperjelas cara pengambilan data yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.1 Faktor level pengujian

Faktor	Level bawah	Level menengah	Level atas
Kode	-1	0	+1
Komposisi	40:60	50:50	60:40
Suhu pengeringan	$50^{\circ}$	$55^{\circ}$	$60^{\circ}$
Jarak	10 cm	15 cm	20 cm

Pengambilan data yang akan dilakukan diambil berdasarkan kombinasi nilai level dari faktor yang dipilih. Penentuan kombinasi dari level faktor ini didasarkan pada rancangan metode respon permukaan. Rancangan penelitian ini menggunakan 3 faktor dengan 3 level di setiap faktornya. Orde pertama menggunakan desain faktorial untuk menentukan respon y terhadap x, jika persamaan tidak dapat diterima maka menggunakan desain orde dua yang berupa *central composite design*

(CCD). Berikut ini merupakan tabel dari perancangan menggunakan metode respon permukaan orde pertama:

Tabel 3.2 Rancangan desain eksperimen faktorial

No	Perbandingan	Suhu	Jarak	Respon1	Respon2	Respon3	Rata-rata
1	-1	-1	-1				
2	1	-1	-1				
3	-1	1	-1				
4	1	1	-1				
5	-1	-1	1				
6	1	-1	1				
7	-1	1	1				
8	1	1	1				
9	0	0	0				
10	0	0	0				
11	0	0	0				
12	0	0	0				

Data pada orde kedua digunakan apabila data pada orde pertama tidak dapat digunakan. Level-level percobaan pada masing-masing variabel faktor dikedokan sedemikian rupa hingga level rendah berhubungan dengan -1 dan level tinggi berhubungan dengan 1 untuk mempermudah membuat tabel. Desain CCD pada percobaan kedua menggunakan tiga variabel faktor, sehingga rotatibilitasnya =  $(32)^{1/4} = 1.682$ , sehingga nilai itu termasuk nilai yang digunakan untuk pengkodean. Pengkodean variabel faktor dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Code} = \frac{x_1 - x_0}{\Delta x_1} \dots \dots \dots (3.13)$$

Tabel 3.3 Rancangan desain eksperimen CCD

No	Perbandingan cat dan tinner	Suhu	Jarak	Respon 1	Respon 2	Respon 3	Rata- rata
1	-1	-1	-1				
2	1	-1	-1				
3	-1	1	-1				
4	1	1	-1				
5	-1	-1	1				
6	1	-1	1				
7	-1	1	1				
8	1	1	1				
9	-1.682	0	0				
10	1.682	0	0				
11	0	-1.682	0				
12	0	1.682	0				
13	0	0	-1.682				
14	0	0	1.682				
15	0	0	0				
16	0	0	0				
17	0	0	0				
18	0	0	0				
19	0	0	0				
20	0	0	0				

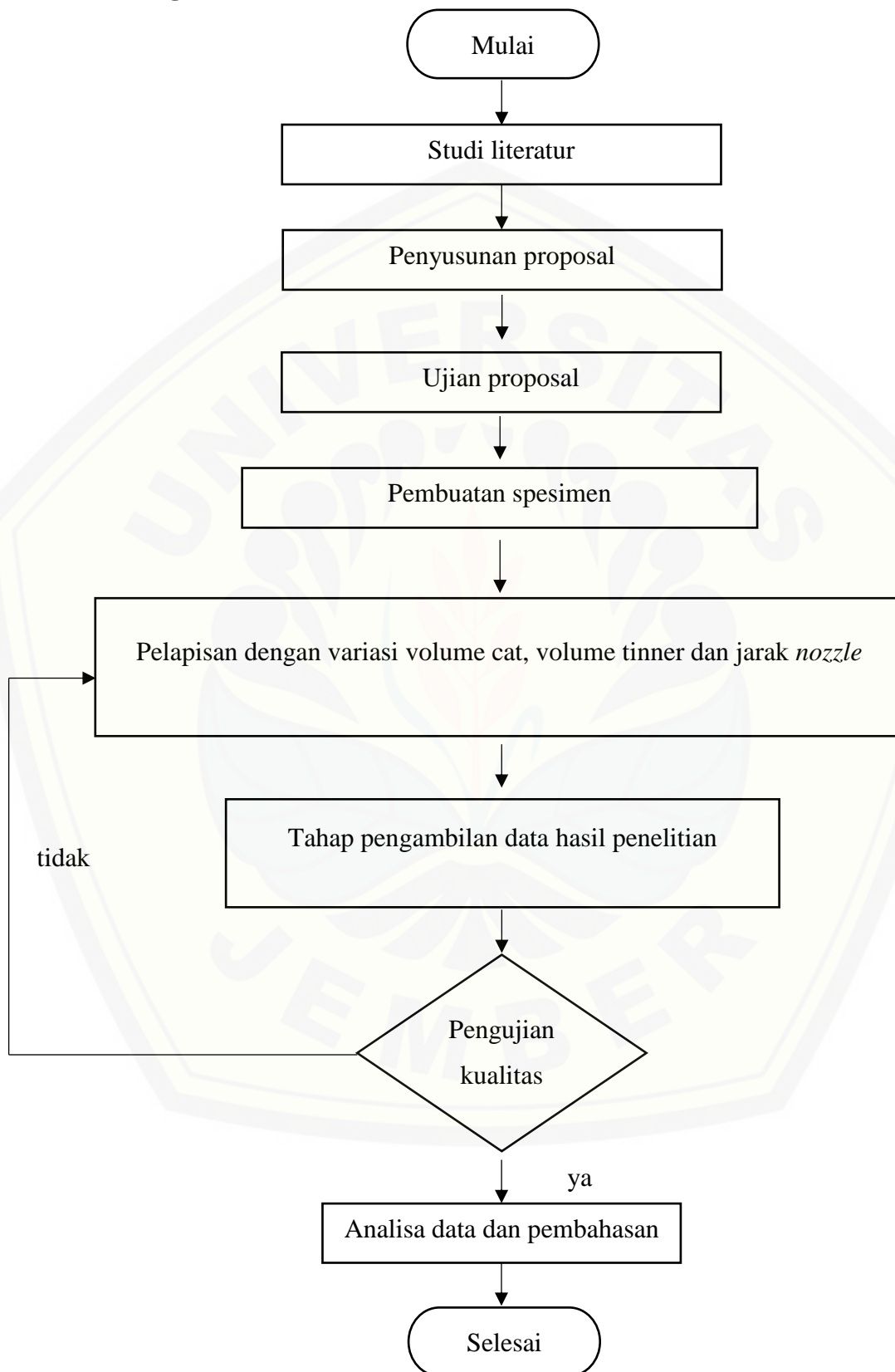
Sebelum dilakukan analisis data penelitian, perlu dilakukan pengujian kualitas untuk menentukan penerimaan sebuah penelitian sesuai dengan ASTM D3359 tentang uji kerekatan cat, dalam hal ini pengujian yang dilakukan adalah *cross cut test*. Pengujian kualitas dilakukan dengan cara menyayat benda kerja secara menyilang lalu ditutup menggunakan *tape*, kemudian tarik membentuk sudut  $180^{\circ}$ . Penelitian dapat diterima apabila lebih dari 65% luasan yang diuji masih tetap menempel pada permukaan benda kerja. Setelah melakukan pengujian, perlu

dilakukannya analisis residual untuk memeriksa kesesuaian model dengan mengikuti asumsi  $\varepsilon_i \approx \text{IID Normal}(0, \sigma^2)$ . Analisis tersebut diantaranya analisis independensi, keidentikan dan kenormalan. Langkah selanjutnya yaitu dengan melakukan pengujian kesesuaian model regresi (*lack of fit*) dan uji parameter regresi secara serentak. Setelah dilakukan pengujian kesesuaian model barulah dapat merumuskan titik stasioner yang didapatkan dari nilai-nilai koefisien regresi pada model orde pertama atau orde kedua.





3.6 Diagram Alir Penelitian

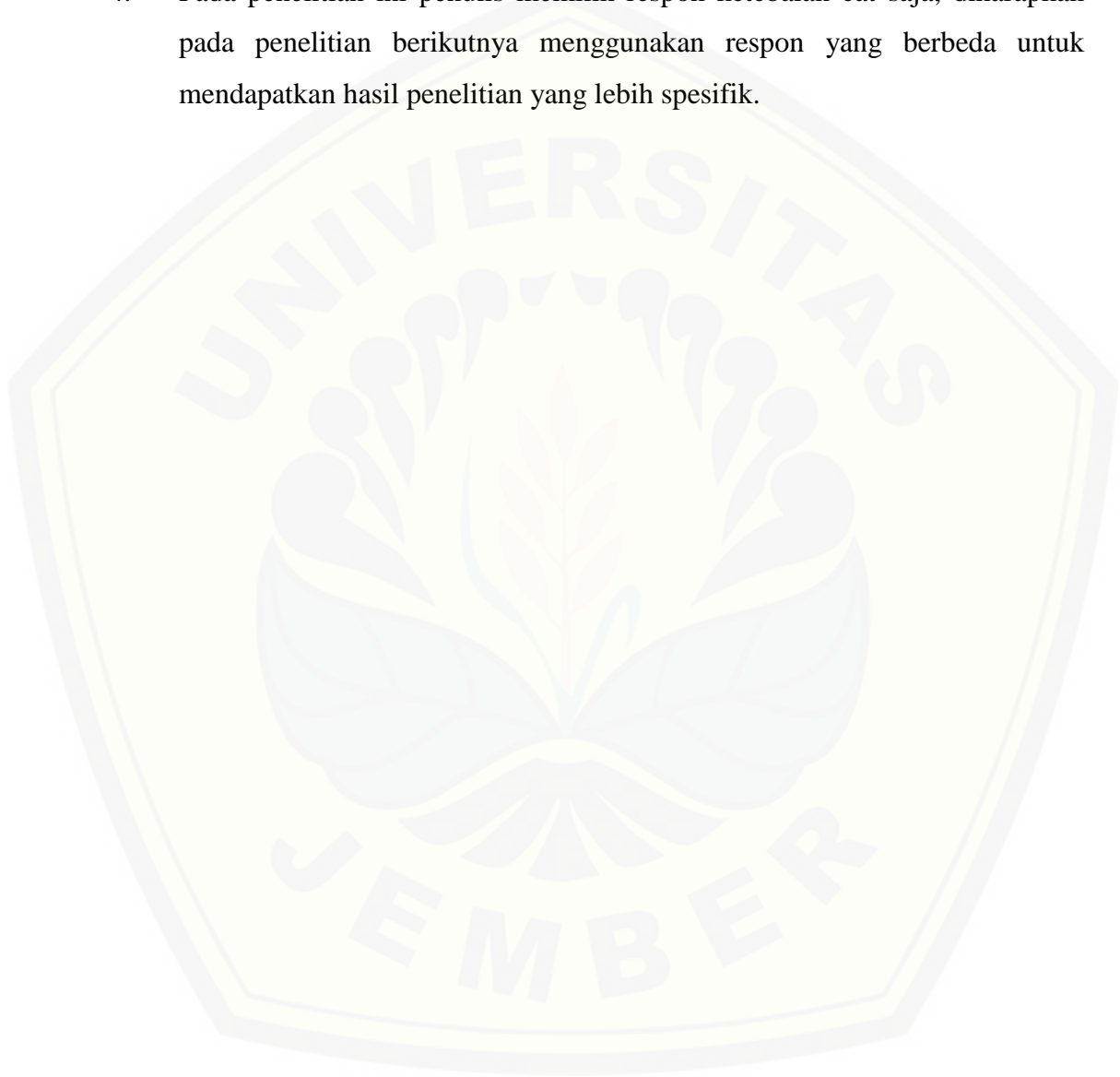


### 3.7 Jadwal rencana penelitian

Tabel 3.4 Jadwal rencana penelitian

No	Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
1	Studi Literatur	■																	
2	Pembuatan spesimen					■													
3	Penggunaan metode									■									
4	Pengujian hasil penelitian													■					
5	Pengolahan Data																	■	
6	Laporan																	■	

3. Pada penelitian ini penulis hanya menggunakan 1 tipe material uji, diharapkan pada penelitian berikutnya menggunakan material yang berbeda dalam pengujiannya untuk dapat mengetahui seberapa besar pengaruh perbedaan material dalam proses pelapisan.
4. Pada penelitian ini penulis memilih respon ketebalan cat saja, diharapkan pada penelitian berikutnya menggunakan respon yang berbeda untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih spesifik.



## DAFTAR PUSTAKA

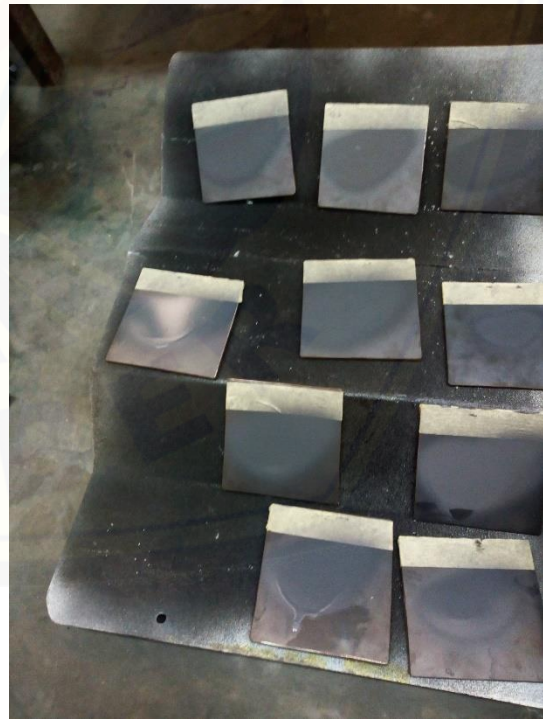
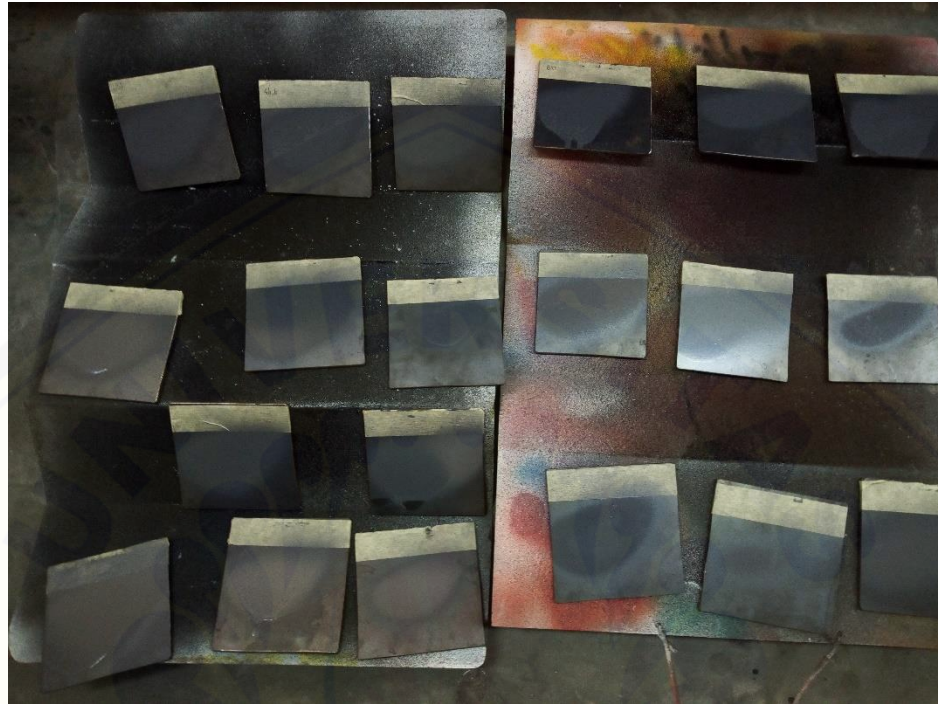
- Chamberlain, J. & Trethewey, K. R., 1991. *Korosi (Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan)*. 1st ed. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Faulina, R., Andari, S. & Anggraeni, D., 2011. *Response Surface Methodology dan Aplikasinya*, I(1), pp. 1-25.
- Fontana, M. G., 1910. *corrosion engineering*. 3rd ed. Ohio: McGraw-Hill Book Co, singapore.
- Goldschmidt, P. D. A. & Streiberger, D. H.-J., 2007. *Basic of Coating Technology*. weidenbruck: Vincentz Network.
- Habibie, N. J. & Anwar, S., 2014. Pengaruh Perbandingan Campuran Cat Dengan Thinner Terhadap Kualitas Dari Pengecatan. *Jurnal Teknik Mesin*, II(03), pp. 97-104.
- HMGPaints, 1990. *Pictorial Surface Preparation Standards For Painting Steel Surfaces*. 1st ed. Manchester: HMG Paints Ltd.
- Khasib, A. & Wulandari, D., 2017. Pengaruh Variasi Penggunaan Thinner Pada Campuran Cat Terhadap Kualitas Hasil Pengecatan. *JPTM*, VI(01), pp. 35-42.
- KlikTeknik, 2016. cara menggunakan dan merawat spray gun. [Online] Available at :<https://www.klikteknik.com> [Accessed 28 Maret 2018].
- Montgomery, D. C., 2001. *Design and Analysis of Experiments*. 5th ed. New York: John Willey & Sons, INC.
- Pratama, R. A. & Kromodiharjo, S., 2016. Studi Eksperimen Pengaruh Tebal Cat dan Kekerasan pada Pelat Baja Karbon Rendah Terhadap Kerekatan Cat dan Biaya Proses di PT. Swadaya Graha. *Jurnal Teknik ITS*, V(02), pp. 311-315.
- Susanto, R. A., 2018. *Analisis Surface Roughness pada Proses Sandblasting Baja Karbon Rendah ST 37*. 1st ed. Jember: Universitas Jember.

## LAMPIRAN

### Lampiran A. Proses Penelitian



**Lampiran B. hasil penelitian**



Lampiran C. Proses Pengukuran Ketebalan Cat



Lampiran D Tabel distribusi F probabilitas (0.05)

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.96	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89



