



## OPTIMASI PROSES KIMIA *PRETREATMENT* DENGAN MENGGUNAKAN *DESIGN OF EXPERIMENT* PADA PERMUKAAN LOGAM SEBELUM *PAINTING*

## OPTIMIZATION OF CHEMICAL *PRETREATMENT* PROCESS BY USING *DESIGN OF EXPERIMENT* FOR METAL SURFACE PRIOR *PAINTING*

**Ansarullah Lawi**

Program Studi Teknik Industri, Universitas Universal  
Kompleks Maha Vihara Duta Maitreya, Sungai Panas, Batam, Kepulauan Riau

Email : lawi\_ansarullah@uvers.ac.id

### ABSTRAK

Proses pretreatment pada PT Caterpillar Indonesia Batam menggunakan teknik *spraying* karena ukuran dimensi dari produknya yang sangat besar. Akibatnya proses ini menghadapi banyak tantangan terkait parameter zat kimia yang digunakan dibanding proses teknik *dipping* yang banyak digunakan pada industri otomotif. Faktanya, beberapa kali ditemukan cacat *peeling* (cat mengelupas) pada lapisan cat *primer* pada *base metal* (permukaan dasar pada logam) karena proses *pretreatment* yang tidak sempurna. Berdasarkan kondisi ini, maka dilakukan penelitian dengan metode *Design of Experiment* (DOE) guna mendapatkan proses *pretreatment* yang memenuhi kualitas dengan biaya yang paling rendah (*Smaller the Better*). Dari hasil eksperimen, didapatkan biaya optimum yang dapat diperoleh adalah Rp. 10.400,- meter persegi dengan parameter *pretreatment* ARDROX 5%, GARDOBOND 10%, dan *pickling* dua kali. Proses *pickling* dapat dilakukan sekali saja tetapi konsentrasi ARDROX harus minimal 10%. Peningkatan konsentrasi material kimia ini pada proses *degreasing* ditemukan sangat mempengaruhi peningkatan biaya proses *pretreatment*. Hal ini terlihat dari hasil *main effect parameter* pada eksperimen. Plot faktor ARDROX sangat tajam kemiringannya, yang artinya sangat mempengaruhi respon (biaya).

**Kata kunci:** *Pretreatment, Design of Experiment, Optimasi, Kualitas*

### ABSTRACT

Due to large product dimension, spraying technic is used for pretreatment process in PT Caterpillar Indonesia Batam. Because of this, a lot of constraint is faced during application compared to common process by using dipping in automotive industry. In fact, defect of peeling are found many times on primer coating with the base metal caused of improper pretreatment process. Based on this, Design of Experiment (DOE) is used on this study to achieve quality requirements with the smallest cost. According to the experiment results, optimum cost can be achieved is Rp. 10.400,- per square meter with pretreatment parameter of ARDROX 5%, GARDOBOND 10%, and pickling two times. Pickling process can be done one time, however it will be used ARDROX concentration 10%. Incremental concentration of this chemical material on degreasing process is found to highly influence the high cost of overall pretreatment process. This is can be seen on the results of the main effect parameter of the experiment. The slope of the ARDROX plot factor is found significant means highly effecting the response (cost).

**Kata kunci:** *Pretreatment, Design of Experiment, Optimization, Quality*

## PENDAHULUAN

*Pretreatment* merupakan istilah yang digunakan untuk suatu pekerjaan pada proses persiapan substrat logam terbuka sebelum proses *painting* (pengecatan) (Gordon, 1996). Tujuan dari pretreatment ini adalah antara lain; (i) untuk membersihkan permukaan logam dengan melepaskan lapisan mill (karbon) dan minyak pelindung sementara yang sebelumnya digunakan untuk melindungi logam, (ii) untuk memperbaiki adhesi (daya rekat) cat dengan menyediakan permukaan lembam yang terdiri dari lapisan konversi kimia yang akan memberikan dasar yang baik untuk pelapis cat primer (dasar) pada proses berikutnya, dan (iii) untuk mencegah penyebaran korosi/karat di bagian bawah lapisan cat pada logam. Proses *pretreatment* dapat dilakukan dengan *spraying* (penyemprotan) atau *dipping* (pencelupan).

Pada kasus yang spesifik untuk komponen yang sangat besar/lebar di mana proses *dipping* agak sulit dilakukan, maka satu-satunya cara yang dapat dilakukan adalah dengan proses *spraying*. Hal ini terjadi pada PT Caterpillar Indonesia Batam yang memproduksi LMT (*Large Mining Truck*) tipe 793D dengan dimensi 13,3m x 6,9m x 2,9m untuk kebutuhan industri pertambangan (Cat.com, 2016). Perbedaan teknik *spraying* dengan teknik *dipping* tentunya mempengaruhi parameter volume, tekanan, suhu, dan konsentrasi zat kimia dari larutan yang digunakan pada proses *pretreatment*. Khususnya pada konsentrasi zat kimia pada larutan, belum ada referensi yang akurat untuk nilai tertentu dengan proses *spraying*. Rata-rata *technical service* dari penyedia atau *supplier material coating* hanya memiliki referensi proses *dipping* yang biasa digunakan pada industri regular otomotif (mobil atau motor di jalan raya).

Kegagalan pada proses *pretreatment* sangat serius pada produk akhir. Contohnya, pada

proses produksi PT Caterpillar Indonesia Batam, beberapa kali ditemukan cacat *peeling* (cat mengelupas) pada lapisan cat primer di *base metal* (permukaan dasar pada logam) yang artinya cat tidak melekat sempurna pada logam. Dari beberapa hasil investigasi di lapangan, faktor penyebab cat tidak melekat kuat adalah karena proses *pretreatment* yang tidak sempurna di mana menyebabkan permukaan logam tidak bersih atau terkontaminasi. Maka berdasar pada kondisi ini, kajian atau penelitian untuk optimasi proses kimia *pretreatment* perlu dilakukan dengan memperhatikan tingkat kualitas dan biayanya. Analisa optimasi ini adalah tujuan dari penelitian ini. Untuk mendapatkan nilai optimasinya, digunakan *Design of Experiment* (DOE) karena metode ini diketahui memiliki tingkat keefektifan yang tinggi dalam melakukan studi dengan eksperimen di lapangan [3].

## LANDASAN TEORI

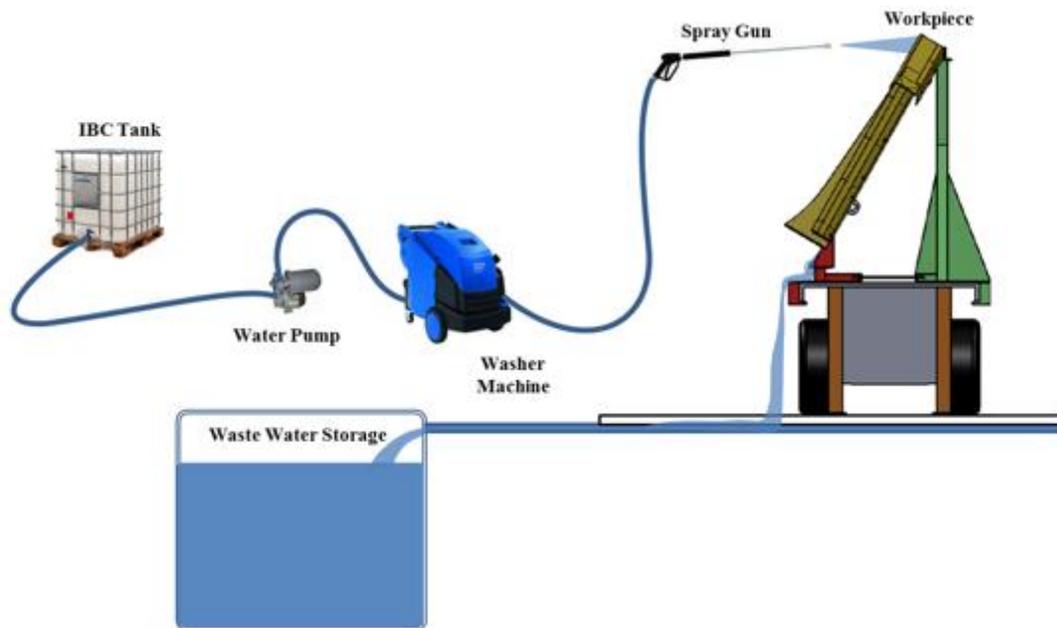
### Proses Pretreatment

Umumnya pada industri otomotif, proses *pretreatment* dengan larutan zat cair kimia melewati proses berturut-turut; (1) penghilangan karat (*rust removal*), (2) pembersihan dengan sabun (*alkaline degreasing*), (3) pembilasan awal (*water rinsing*), (4) pelapisan asam phosphate (*phosphating*), (5) pembilasan akhir (*demineralized water rinsing*). Langkah utama dari *pretreatment* ini adalah *phosphating* (Gordon, 1996) dimana berfungsi sebagai lapisan yang melindungi permukaan logam secara keseluruhan sekaligus sebagai media yang memberi daya rekat lebih kuat pada cat dasar.

Pada proses *pretreatment*, 5 (lima) komponen utama yang digunakan untuk proses aplikasi adalah; tangka IBC, pompa air, mesin jet *washer*, *spray gun* (tongkat penyemprot), dan *material chemical* (Gambar 1)

### Metode Design of Experiment (DOE)

Metode *Design of Experiment* (DOE) yang dikenal juga sebagai *off-line quality control*, adalah merupakan suatu metode pengendalian



**Gambar 1** *Ilustrasi proses pretreatment dengan teknik spraying*

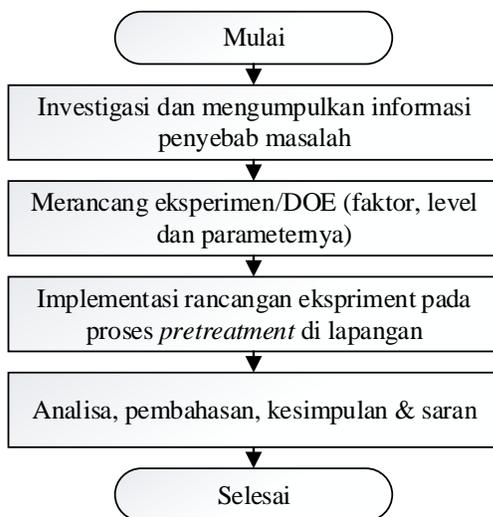
yang sangat populer dalam peningkatan kualitas sekaligus dalam mengurangi biaya (Zayendra & Yozza, 2016). Metode ini menyediakan pendekatan sistematis yang dapat membantu insinyur Teknik Industri dalam menemukan proses parameter (atau variabel) yang dapat mempengaruhi karakteristik dari proses-proses yang kritis (Antony, Warwood, Fernandes, & Rowlands, 2007). Dalam metode DOE terdapat matriks *orthogonal array* (OA) yang digunakan untuk menentukan jumlah *run* percobaan minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin tentang semua faktor yang mempengaruhi hasil eksperimen (Zayendra & Yozza, 2016).

## METODOLOGI PENELITIAN

Secara garis besar, urutan proses yang dilalui dalam melakukan penelitian dapat digambarkan ke dalam *flowchart* pada Gambar 2. Data yang digunakan adalah data primer yang diperoleh secara langsung melalui eksperimen di PT Caterpillar Indonesia Batam.

### Material Pretreatment

Material kimia yang digunakan adalah produk dari Chemetall Asia Pte. Ltd di mana urutan dan tipe dari material yang digunakan dapat di lihat pada Tabel 1. Proses pickling atau menghilangkan karat pada permukaan logam terkadang dilakukan 2 (dua) kali karena ketebalan atau kedalaman dari karat/korosi. Juga, beberapa kali ditemukan berbagai kendala dalam memilih konsentrasi zat kimia yang dicampurkan pada larutan proses *pretreatment* di mana mempengaruhi kualitas dari *product finishing* atau pada proses *painting* (pencatatan).



**Gambar 2 Alur proses penelitian**



**Tabel 1 Urutan dan jenis zat kimia yang**

No	Langkah	Tipe Material
1	Pickling/Rust Removal	GARDACID P4468
2	Degreasing	ARDROX 6332
3	Water Rinsing	Air
4	Phosphating	GARDOBOND A4975
5	Demineralized Water Rinsing	Air Bersih (Temp. 70°C)

**digunakan pada proses pretreatment**

### Penerapan Design of Experiment (DOE)

Karakteristik kualitas berdasarkan metode DOE Taguchi yang sesuai pada penelitian ini adalah *Smaller-the-Better* (STB), karena hasil yang diinginkan atau variabel terikat pada penelitian ini adalah biaya yang paling kecil dari proses pretreatment dan memenuhi persyaratan kualitas untuk proses berikutnya. Sedangkan faktor-faktor kendali atau variabel bebas yang dipilih adalah; konsentrasi ARDROX pada larutan *degreasing*, konsentrasi GARDOBOND pada larutan *phosphating*, dan jumlah pengulangan dari proses *pickling*. Untuk faktor tak terkendali (*noise*) pada penelitian ini adalah tingkat karatan (korosi) dari logam karena faktor sukarnya mengontrol kualitas permukaan logam dari fabrikasi yang telah melalui proses pengelasan, distribusi, dan penyimpanan sementara. Tabel 2 memperlihatkan faktor dan level dari eksperimen yang diusulkan. Level yang diusulkan berdasarkan hasil pertimbangan tim *engineering* dan masukan dari *supplier*.

Berdasarkan jumlah faktor dan level, dapat ditentukan *orthogonal array* (OA) pada parameter penelitian ini adalah  $L_8 2^3$  yang artinya adalah ada 8 variasi percobaan eksperimen untuk 3 faktor dengan 2 level. Tabel 3 menampilkan matriks dari  $L_8 2^3$  ini.

### Analisa Data

*Signal to Noise Ratio* (S/N) digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi variasi suatu respon. Menurut

Taguchi, terdapat tiga jenis karakteristik SNR yaitu: *Nominal is the best*, *Smaller is better*, dan *Higher is better* (Zayendra & Yozza, 2016). Karakteristik kualitas yang digunakan pada penelitian ini adalah *Smaller the Better* (STB) di mana target luaran adalah hasil variasi parameter yang memiliki nilai biaya operasi terendah dan memenuhi standar kualitas. Maka berdasarkan data percobaan, untuk menghitung *Signal to Noise Smaller the Better* (S/N STB) dapat digunakan rumus berikut (Zulhendri & Yusri, 2008):

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

**Tabel 2 Faktor dan level dari eksperimen untuk model yang dibangun**

Faktor	Level	
	-1 (Low)	1 (High)
Konsentrasi ADROX pada larutan <i>Degreasing</i>	5%	10%
Konsentrasi GARDOBOND pada larutan <i>Phosphating</i>	10%	20%
Frekuensi proses <i>Pickling</i>	1 kali	2 kali

**Tabel 3 Orthogonal array atau variasi percobaan pada eksperimen**

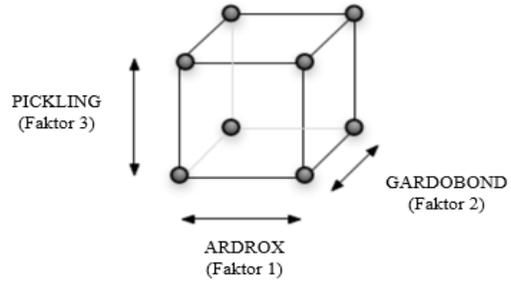
Run	Konsentrasi ARDROX (%)	Konsentrasi GARDOBOND (%)	Frekuensi Pickling (kali)
1	5	10	1
2	5	10	2
3	5	20	1
4	5	20	2
5	10	10	1
6	10	10	2
7	10	20	1
8	10	20	2

Karena tiga faktor yang dimiliki pada rancangan eksperimen ini yang masing-masing menggunakan dua level, maka rumus yang digunakan model linier faktor  $2^3$  untuk

menjelaskan fenomena tersebut adalah sebagai berikut (Goupy & Creighton, 2007):

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{123}x_1x_2x_3 \quad (2)$$

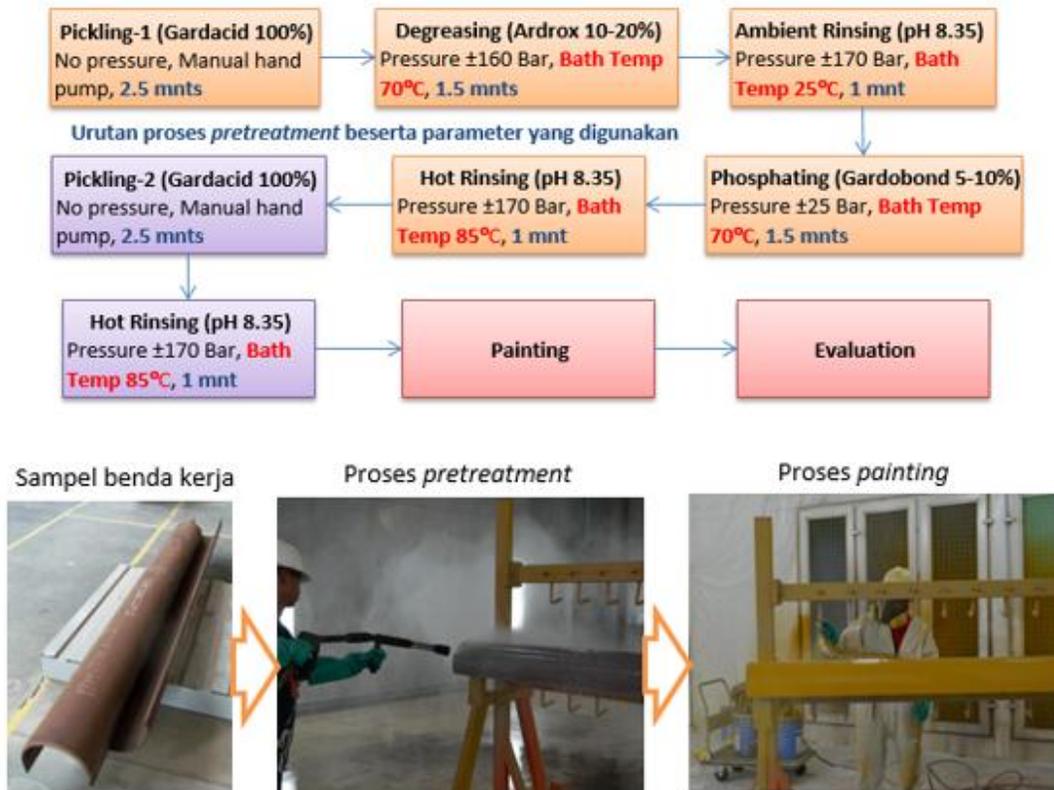
Desain atau rancangan pada model ini dapat diilustrasikan pada Gambar 3 dengan menspesifikasikan domain studi dan titik-titiknya pada eksperimen. Koordinat pada titik-titik eksperimen adalah faktor-faktor yang tinggi (*high*) dan rendah (*low*). Ekuivalensi ini menggambarkan rancangan dari matriks eksperimen.



**Gambar 3 Matriks dari rancangan model eksperimen**

**Implementasi Rancangan Eksperimen di Lapangan**

Pelaksanaan eksperimen dilakukan sesuai dengan rancangan pada Tabel 2 diatas. Dengan memperhitungkan ukuran produk yang sangat besar, maka untuk memudahkan eksperimen digunakan sampel benda kerja yang berukuran kecil dengan dimensi 2m x 0,3m. Urutan proses pada eksperimen mengikuti proses aktual yang biasa dilakukan pada produk



**Gambar 4 Aplikasi eksperimen di lapangan**



(Gambar 4). Untuk menjamin pengaruh variabel sampai ke produk akhir, maka hasil dari eksperimen proses *pretreatment* dilanjutkan ke proses *painting* (pengecatan). Pada akhirnya sampel benda kerja dievaluasi dengan metode cross-cut untuk menguji kekuatan daya rekat cat pada logam. Biaya yang dikalkulasi dari variasi percobaan di mana merupakan respon dari eksperimen kemudian disaring lagi berdasarkan hasil uji *finishing* apakah *accept* atau *not-accept*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Respon Biaya per Meter Persegi

Seperti disebutkan sebelumnya bahwa respon yang menjadi target pada penelitian ini adalah biaya. Menimbang banyaknya variasi ukuran atau dimensi dari benda kerja (produk) maka biaya dihitung dengan satuan meter per kubik. Berdasarkan rancangan variasi parameter pada eksperimen, maka dihasilkan nilai respon (variabel terikat) seperti yang terlihat pada Tabel 4.

**Tabel 4 Hasil perhitungan biaya dengan variasi faktor-faktor pada eksperimen**

Konsentrasi ARDROX (%)	Konsentrasi GARDOBOND (%)	Freq. Pickling (kali)	Respon Biaya/m <sup>2</sup> (x Rp. 1000)
5	10	1	8.18
5	10	2	10.40
5	20	1	9.80
5	20	2	12.03
10	10	1	12.51
10	10	2	14.73
10	20	1	14.14
10	20	2	16.36

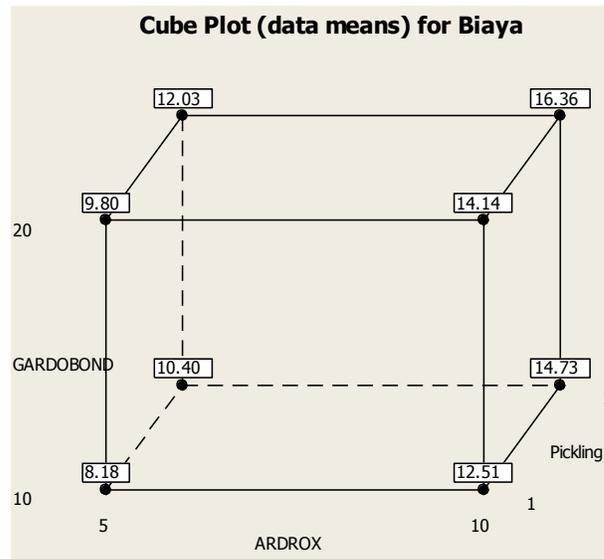
### Hubungan Antar Faktor

Dengan menggunakan bantuan aplikasi Minitab 14, hubungan ketiga faktor tersebut dianalisa berdasarkan respon biaya yang dihasilkan. Gambar 5 memperlihatkan nilai-nilai respon dari kombinasi faktor. Posisi dari nilai-nilai tersebut merepresentasikan hubungannya dengan faktor-faktor yang ditempatkan pada setiap koordinat dari kubus.

Secara individu pada Gambar 6 dapat diketahui bahwa yang memiliki efek paling signifikan untuk biaya adalah faktor parameter dari konsentrasi ARDROX pada proses *degreasing*. Hal ini terlihat dari plot kemiringannya yang sangat curam dibanding

faktor lainnya. Persamaan regresi pada eksperimen ini didapatkan sebagai berikut:

$$\text{Biaya} = - 0.00500 + 0.867 \text{ ARDROX} + 0.163 \text{ GARDOBOND} + 2.22 \text{ Pickling}$$

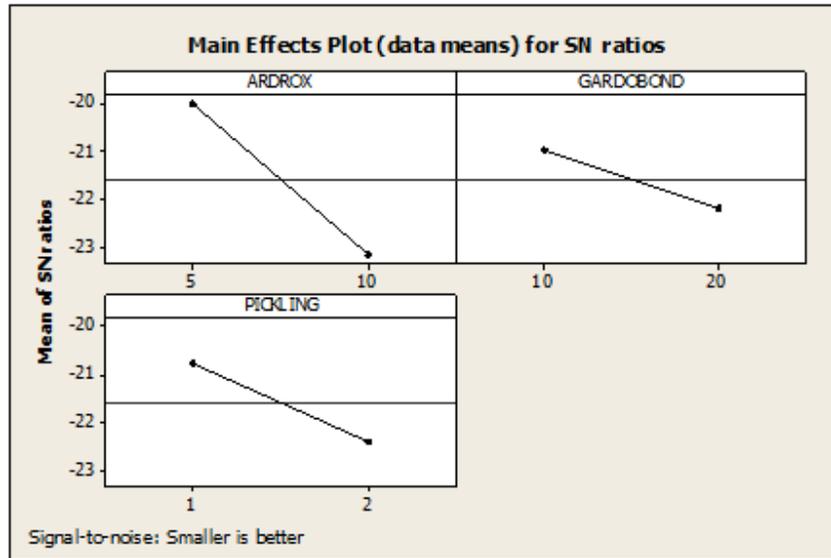


**Gambar 5 Posisi dan nilai setiap respon pada hasil setiap kombinasi eksperimen**

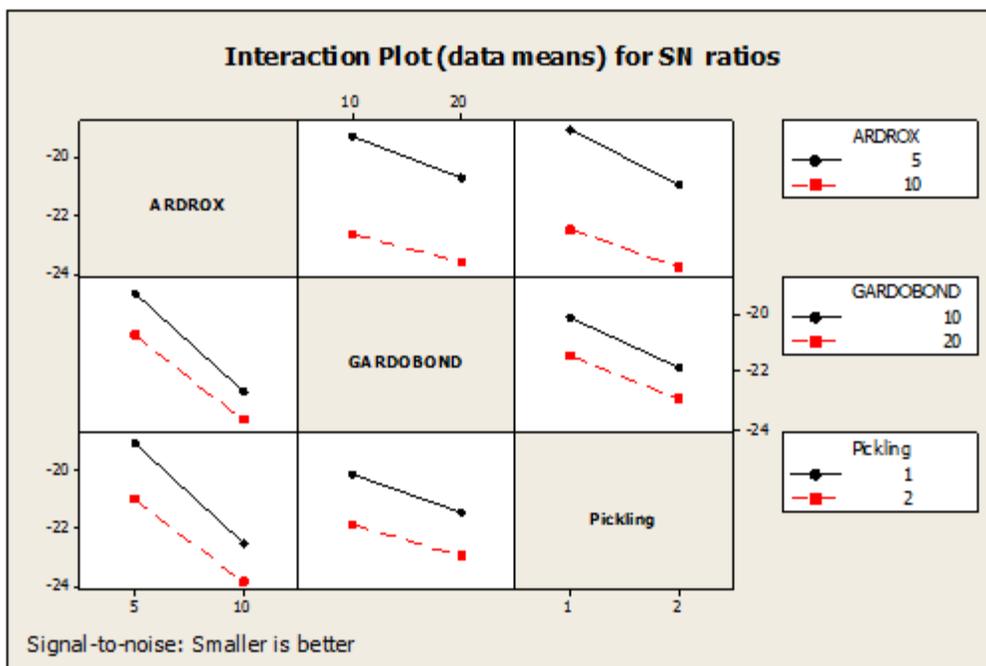
Apabila dianalisa alur interaksi antara ketiga faktor maka dapat dilihat bahwa kombinasi dari ARDROX dan *Pickling* sangat mempengaruhi respon biaya (Gambar 7). Gambar 8 selanjutnya sangat jelas memperlihatkan hubungan setiap konsentrasi ARDROX dan GARDOBOND terhadap respon biaya. Contohnya bila konsentrasi ARDROX sekitar 6% dan GARDOBOND 14% maka biaya operasional untuk proses pretreatment akan menjadi sekitar Rp 10.000 – Rp11.000 per meter persegi pada benda kerja.

### Seleksi Biaya Optimum Berdasarkan Persyaratan Kualitas

Biaya yang didapatkan dari variasi parameter pada eksperimen proses pretreatment tentunya harus diseleksi lagi berdasarkan persyaratan kualitas dari produk. Untuk menguji finishing produk, salah satu alat atau teknik yang



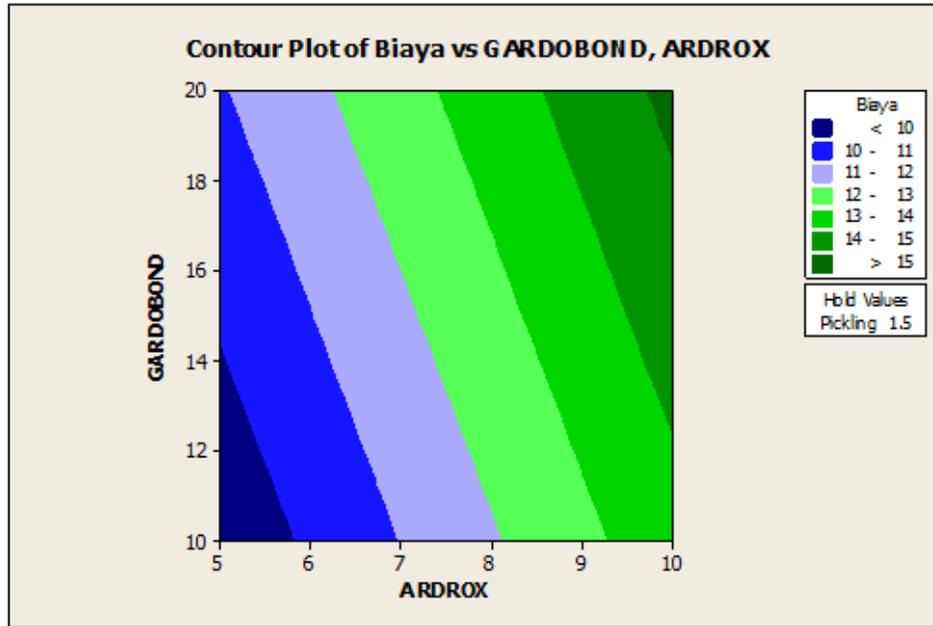
Gambar 6 Perbandingan pengaruh setiap faktor berdasarkan *S/N STB*



Gambar 7 Interaksi antar faktor berdasarkan *S/N STB*

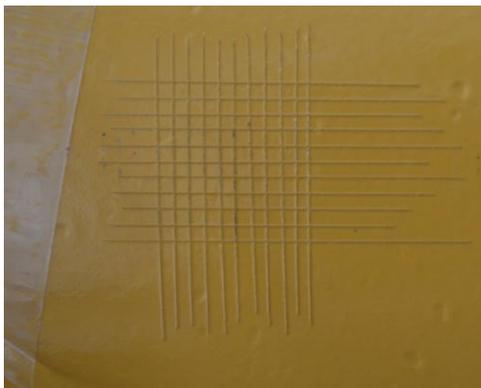
paling umum digunakan adalah dengan *cross-cut method* (Gordon, 1996). Teknik dari metode ini adalah dengan memilih daerah sampel yang telah dicat kemudian dilakukan garis saling menyilang tegak lurus pada permukaan cat dengan

menggunakan alat gores (*cutter*). Daerah yang telah dibuat garis tegak lurus ini kemudian ditempelkan selotip transparan. Pada saat melepas selotip ini, apabila ditemukan cat yang mengelupas maka hasil tersebut dianggap gagal



**Gambar 8 Hubungan konsentrasi faktor ARDROX dan GARDOBOND**

(*failed*). Pengujian ini dilakukan 24 jam setelah proses curing (proses pematangan) cat pada benda kerja. Pada eksperimen ini level adhesi dari cat adalah 5B, yang artinya kotak pada cross-cut tidak diperbolehkan cacat (Gambar 9). Aplikasi cat pada benda kerja sesuai dengan karakteristik perlakuan pada produk actual, yaitu cat dasar atau primer dengan epoxy grey, dan Cat yellow topcoat pada lapisan keduanya.



**Gambar 9 Pengujian kekuatan cat (*adhesion test*) dengan metode *cross-cut***

Hasil pengujian *cross-cut* berdasarkan respon eksperimen dapat di lihat pada Tabel 5.

Kegagalan ditemukan pada variasi proses *run* pertama dan ketiga di mana proses parameternya adalah kombinasi ARDROX 5%, GARDOBOND 10%, dan pickling satu kali, serta kombinasi ARDROX 5%, GARDOBOND 20%, dan pickling satu kali.

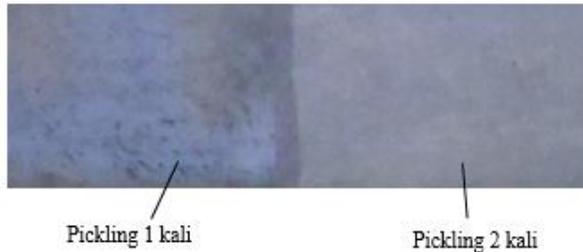
**Tabel 4 Seleksi respon yang memenuhi persyaratan kualitas pada produk**

Respon Biaya/m <sup>2</sup> (x Rp. 1000)	S/N STB	Hasil Pengujian Cross-cut Test
<b>8.18</b>	-18.2551	<b>Failed</b>
<b>10.40</b>	-20.3407	Passed
<b>9.80</b>	-19.8245	<b>Failed</b>
<b>12.03</b>	-21.6053	Passed
<b>12.51</b>	-21.9451	Passed
<b>14.73</b>	-23.3641	Passed
<b>14.14</b>	-23.009	Passed
<b>16.36</b>	-24.2757	Passed

Dapat disimpulkan bahwa untuk proses pretreatment, *pickling* satu kali sepertinya tidak menghasilkan kualitas yang memadai untuk pembersihan permukaan logam, kecuali bila



konsentrasi ARDROX dinaikkan sampai 10% pada proses *degreasing*. Pada saat eksperimen pun terlihat perbedaan karakteristik permukaan benda kerja antara proses *pickling* satu kali dibanding proses *pickling* dua kali (Gambar 7).



**Gambar 7** Perbedaan kontras frekuensi proses *pickling* pada permukaan benda kerja

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Biaya optimum (*Smaller the Better*) yang direkomendasikan berdasarkan hasil eksperimen di mana juga memenuhi syarat kualitas adalah Rp. 10.400,- meter persegi dengan parameter *pretreatment* ARDROX 5%, GARDOBOND 10%, dan *pickling* dua kali.
- 2) Proses *pickling* dapat dilakukan sekali saja tetapi konsentrasi ARDROX harus minimal 10%. Peningkatan konsentrasi material kimia ini pada proses *degreasing* ditemukan sangat mempengaruhi peningkatan biaya proses *pretreatment*. Hal ini terlihat dari hasil *main effect* parameter pada eksperimen. Plot faktor ARDROX sangat tajam kemiringannya, yang artinya sangat mempengaruhi respon (biaya).
- 3) Selain dari faktor biaya, perlu juga dipertimbangkan apabila dilakukan penambahan konsentrasi ARDROX. Hal ini karena dapat membahayakan kesehatan operator. Bau (odor) material zat kimia ini sangat tajam pada saat aplikasi *pretreatment*.

- 4) Konsentrasi GARDOBOND pada larutan phosphating ditemukan paling sedikit memberi efek ke biaya produksi. Namun aplikasi *pretreatment* memberi efek *long-term* pada benda kerja dalam menangkal *corrosion premature* atau pengkaratan awal pada benda kerja sehingga sangat riskan untuk mengurangi konsentrasi ini di bawah saran yang diberikan oleh *supplier/producer*.

### Saran

- 1) Beberapa temuan dari penelitian ini dapat dijadikan perusahaan sebagai masukan dalam mengoptimalkan biaya sekaligus menjaga kualitas dari produk dengan memodifikasi proses *pretreatment*.
- 2) Proses inti dari *pretreatment* adalah *phosphating*. Yang artinya, apabila kualitas permukaan logam sangat baik sebelum masuk ke proses ini, maka *degreasing* dan *pickling* dapat dihilangkan di mana tentunya sangat mempengaruhi penurunan biaya dan *lead time*.
- 3) Untuk penelitian selanjutnya dengan contoh kasus sejenis, sebaiknya menambahkan parameter penting lainnya, seperti variasi temperatur dari larutan zat kimia dan pengaruh tekanan (*pressure*) pada saat aplikasi *pretreatment*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Antony, J., Warwood, S., Fernandes, K., & Rowlands, H. (2007). Process Optimisation using Taguchi Methods of Experimental Design. *Work Study*, 50(2), 51–57. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/00438020110366330>
- Cat.com. (2016). Caterpillar 793D Rock Truck. Retrieved July 22, 2017, from [http://www.cat.com/en\\_IN/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/18092621.html](http://www.cat.com/en_IN/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/18092621.html)

Gordon, F. (1996). *Automotive Paints and Coatings*. Wiley-VCH Verlag GmbH. [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(96\)00635-2](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(96)00635-2)

Goupy, J., & Creighton, L. (2007). *Introduction to Design of Experiments*. SAS Press. <https://doi.org/10.1198/tas.2008.s273>

Zayendra, S., & Yozza, H. (2016). Penerapan Metode Taguchi Untuk Optimalisasi Hasil Produksi Roti di Usaha Roti Meyza Bakery, Padang Sumatera Barat. *Jurnal Matematika UNAND*, 5(3), 113–121.

Zulhendri, & Yusri. (2008). Penggunaan Metode Parameter Taguchi Dalam Mengidentifikasi Kekasaran Permukaan Optimum Proses Bubut. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(2), 94–101.