

OPTIMASI KUALITAS WARNA MINYAK GORENG DENGAN METODE *RESPONSE SURFACE*

Didik Wahjudi

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Gan Shu San

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Lely Tjandranitia Dewi

Alumnus Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Industri – Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

Optimasi kualitas warna minyak goreng dilakukan dengan mengadakan eksperimen menggunakan sampel minyak goreng dengan berat 98 gram dan zat pemutih 2 gram, yang terdiri dari *bleaching earth* dan *carbon active*. Variabel-variabel yang mempengaruhi warna minyak goreng ada tiga, yaitu temperatur (X_1) antara 90°C sampai 110°C, waktu pengadukan (X_2) antara 10 menit sampai 20 menit, dan kadar CA (X_3) antara 5% sampai 15% (dari 2 gram zat pemutih).

Metode *Response Surface* terdiri dari dua rancangan eksperimen, yaitu rancangan eksperimen orde I dan rancangan eksperimen orde II. Dimana rancangan eksperimen orde I merupakan tahap penyaringan faktor (*screening test*), sedangkan rancangan eksperimen orde II merupakan tahap optimasi.

Dari hasil eksperimen orde I, diperoleh hasil bahwa variabel yang berpengaruh adalah waktu pengadukan dan CA. Hasil eksperimen orde II menyatakan bahwa model optimasi yang sesuai adalah $Y = 1,7833 + 0,0538 X_2 + 0,1098 X_3 + 0,0477 X_2 X_3 + \epsilon$, dan kondisi optimum faktor dengan pertimbangan biaya zat pemutih ada tiga pilihan.

Kata kunci: desain eksperimen, rekayasa mutu

ABSTRACT

Quality optimization of cooking oil color is done by performing experiment using samples of 98 gram cooking oil and 2 gram of whitening agent, i.e. bleaching earth and carbon active. There are three variables that affects the cooking oil color, i.e. temperature (X_1) in the range of 90 to 110 ° C, stirring time of 10 to 20 minutes, and active carbon concentration (X_3) of 5 to 15% (of the 2 gram of whitening agent).

Response Surface Method consists of two-experiment designs, the first order and the second order experiment designs. The first order experiment design is the factor screening stage, while the second order design is the optimization stage.

The first order experiment shew that only stirring time and the concentration of active carbon affects the color. The second order experiment resulted in that the appropriate optimization model is $Y = 1,7833 + 0,0538 X_2 + 0,1098 X_3 + 0,0477 X_2 X_3 + \epsilon$ and that there are three choices of optimal factor condition with regards of the whitening agent cost.

Keywords: design experiment, quality engineering

1. PENDAHULUAN

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas dari minyak goreng adalah warna. Hasil pengolahan kopra mengandung warna kuning dan merah yang cukup tinggi. Oleh sebab itu diperlukan zat pemutih untuk mengurangi warna tersebut, karena semakin sedikit kandungan warna kuning dan merah maka kualitasnya semakin baik.

Hasil produk yang diinginkan adalah minyak goreng dengan kadar warna kuning antara 2-20 dan kadar warna merah antara 0,5-2. Kadar yang telah ditetapkan oleh pihak perusahaan sampai dengan proses vakum, yaitu untuk kualitas 1, warna kuning adalah 3-4, warna merah adalah 0,7-0,8. Sedangkan untuk kualitas 2, warna kuning adalah 5-7, warna merah adalah 1-1,2. Oleh karena penelitian yang dilakukan di laboratorium tidak menggunakan proses vakum, maka kadar warna yang dicapai juga berbeda, yakni untuk kualitas 1, warna kuning adalah 5-6, warna merah adalah 0,7-0,8 dan untuk kualitas 2, warna kuning adalah 8-12, warna merah 1-1,3.

Zat pemutih yang digunakan ada dua jenis yaitu *carbon active* dengan daya pemutih yang sangat kuat dan *bleaching earth*. Harga dari *carbon active* jauh lebih mahal dibandingkan *bleaching earth* sehingga terdapat pertimbangan antara pengaturan komposisi zat pemutih dengan biaya yang dikeluarkan. Oleh sebab itu ide dari permasalahan yang ada adalah mengoptimalkan kualitas warna dengan pertimbangan biaya zat pemutih.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kadar warna kuning dan merah yang diinginkan dengan biaya lebih rendah atau menurunkan kadar warna kuning dan merah dari yang telah ditetapkan oleh perusahaan saat ini dengan biaya yang hampir sama atau bahkan lebih rendah.

Batasan masalah yang diambil untuk penelitian ini ialah:

- 1) Perhitungan biaya dibatasi hanya pada biaya zat pemutih.
- 2) Eksperimen dilakukan pada kualitas 2 dengan bahan dasar kopra.
- 3) Tidak membahas proses kimia.
- 4) Tidak merubah komposisi minyak goreng dan zat pemutih yang telah ditetapkan oleh pihak laboratorium perusahaan.
- 5) Penelitian yang dilakukan terbatas dengan peralatan yang ada di laboratorium, yakni tidak melalui proses vakum.

2. RANCANGAN PERCOBAAN

Response Surface Methodology (RSM) merupakan suatu metode gabungan antara teknik matematika dan teknik statistik, digunakan untuk membuat model dan menganalisa suatu respon y yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas/faktor x guna mengoptimalkan respon tersebut. Hubungan antara respon y dan variabel bebas x adalah:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + e$$

dimana:

y = variabel respon

x_i = variabel bebas/ faktor ($i = 1, 2, 3, \dots, k$)

e = error

Langkah pertama dari RSM adalah menemukan hubungan antara respon y dan faktor y melalui persamaan polinomial orde pertama dan digunakan model regresi linear, atau yang lebih dikenal dengan *first-order model* (model orde I):

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i$$

Rancangan eksperimen orde I yang sesuai untuk tahap penyaring faktor adalah rancangan faktorial 2^k (*Two Level Factorial Design*).

Selanjutnya untuk model orde II, biasanya terdapat kelengkungan dan digunakan model polinomial orde kedua yang fungsinya kuadratik:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + e$$

Rancangan eksperimen orde II yang digunakan adalah rancangan faktorial 3^k (*Three Level Factorial Design*), yang sesuai untuk masalah optimasi. Kemudian dari model orde II ditentukan titik stasioner, karakteristik permukaan respon dan model optimasinya.

3. LANGKAH-LANGKAH PENELITIAN

Penelitian ini dibuat dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Menentukan faktor, jumlah dan range level setiap faktor.
- 2) Menentukan respon dan mempelajari bagaimana mengukurnya.
- 3) Menyusun rancangan eksperimen orde I.
- 4) Melakukan eksperimen sesuai rancangan orde I.
- 5) Mengolah hasil eksperimen orde I.
- 6) Menyusun rancangan eksperimen orde II.
- 7) Melakukan eksperimen sesuai rancangan orde II.
- 8) Mengolah hasil eksperimen orde II.
- 9) Menentukan model optimasi.
- 10) Menentukan kondisi optimum dengan pertimbangan biaya zat pemutih.
- 11) Menghitung biaya zat pemutih dari kondisi optimum yang dicapai.

Eksperimen terhadap warna minyak goreng, khususnya pada proses pemutihan minyak goreng kualitas 2 dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

- 1) Persiapan awal, yaitu dengan menimbang minyak goreng sebanyak 98 gram, campuran zat pemutih *bleaching earth* dan *carbon active* sebanyak 2 gram.
- 2) Minyak goreng yang sudah ditimbang dipanaskan sampai dengan suhu sesuai rancangan yang dibuat.
- 3) Zat pemutih dimasukkan ke dalam minyak goreng yang telah panas tersebut..
- 4) Setelah minyak goreng dan zat pemutih tercampur, lalu diaduk selama waktu yang dikehendaki.
- 5) Setelah campuran antara minyak goreng dan zat pemutih diaduk sampai rata dan sesuai dengan waktu yang dikehendaki, maka kemudian dilakukan proses penyaringan dengan menggunakan kertas penyaring.
- 6) Setelah disaring, minyak goreng diukur kualitas warnanya dengan alat pengukur warna.

4. DESAIN DAN ANALISA EKSPERIMEN ORDE I

Adapun variabel-variabel beserta level dalam eksperimen ini meliputi:

- 1) Variabel respon, yaitu: warna kuning dan warna merah yang dikandung oleh minyak goreng.
- 2) Variabel bebas/ faktor, terdiri dari:
 - Suhu (X_1), range antara 90°C sampai dengan 110°C.

- Waktu pengadukan (X_2), range antara 10 menit sampai dengan 20 menit.
 - % *Carbon Active* (CA) dari 2 gram zat pemutih (X_3), range antara 5% sampai dengan 15%, dengan komposisi *Bleaching Earth* (BE) dan *Carbon Active* (CA) sebagai berikut:
 - ❖ level 5% : BE = 1,9 gram dan CA = 0,1 gram.
 - ❖ level 15% : BE = 1,7 gram dan CA = 0,3 gram.
- Nilai dari level-level di atas ditentukan berdasarkan pengalaman dari pihak laboratorium perusahaan.

Tabel 1. Kode & Nilai Level Eksperimen Orde I

Kode	-1	1
Suhu (X_1)	90°C	110°C
Waktu (X_2)	10 menit	20 menit
% CA (X_3)	5%	15%
	BE=1,9 gr & CA=0,1 =gr	BE=1,7 gr & CA=0,3 gr

Perbandingan antara warna merah dan kuning adalah 1:10, sehingga untuk mengetahui nilai respon, dicari bobot (w) untuk warna merah dan kuning, yakni:

- $w_{\text{merah}} = (10/11) \times 100\% = 90,91\%$
- $w_{\text{kuning}} = (1/11) \times 100\% = 9,09\%$

Pengolahan data orde I dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 2. Pengolahan Eksperimen Orde I

Std Order	Run Order	Blocks	Temp	Time	CA	Red	Yellow	Response	FITS1	RES11
23	1	1	-1	1	1	0,9	8,9	1,62720	1,62152	0,00568
32	2	1	1	1	1	0,9	8,8	1,61811	1,62834	-0,01023
30	3	1	1	-1	1	1,0	10,0	1,81810	1,72606	0,09204
31	4	1	-1	1	1	0,9	8,7	1,60902	1,62152	-0,01250
18	5	1	1	-1	-1	1,1	10,0	1,90901	1,85106	0,05795
25	6	1	-1	-1	-1	1,2	10,1	2,00901	1,89197	0,11704
29	7	1	-1	-1	1	1,0	7,7	1,60903	1,69425	-0,08522
27	8	1	-1	1	-1	1,0	8,1	1,64539	1,70561	-0,06022
26	9	1	1	-1	-1	1,2	8,9	1,89993	1,85106	0,04887
24	10	1	1	1	1	1,1	6,8	1,61813	1,62834	-0,01021
19	11	1	-1	1	-1	1,0	8,0	1,63630	1,70561	-0,06931
22	12	1	1	-1	1	1,0	10,0	1,81810	1,72606	0,09204
20	13	1	1	1	-1	1,0	11,0	1,90900	1,75333	0,15567
21	14	1	-1	-1	1	1,0	6,7	1,51813	1,69425	-0,17612
28	15	1	1	1	-1	0,9	9,0	1,63629	1,75333	-0,11704
17	16	1	-1	-1	-1	1,2	8,5	1,86357	1,89197	-0,02840
7	17	2	-1	1	1	0,9	7,9	1,53630	1,54653	-0,01023
11	18	2	-1	1	-1	1,0	9,0	1,72720	1,63062	0,09658

lanjutan

9	19	2	-1	-1	-1	1,1	10,0	1,90901	1,81698	0,09203
5	20	2	-1	-1	1	1,1	8,9	1,80902	1,61926	0,18976
15	21	2	-1	1	1	1,0	7,2	1,56358	1,54653	0,01705
10	22	2	1	-1	-1	1,1	8,0	1,72721	1,77607	-0,04886
1	23	2	-1	-1	-1	1,1	7,0	1,63631	1,81698	-0,18067
8	24	2	1	1	1	0,9	8,7	1,60902	1,55335	0,05567
13	25	2	-1	-1	1	1,0	8,6	1,69084	1,61926	0,07158
14	26	2	1	-1	1	1,0	7,8	1,61812	1,65107	-0,03295
4	27	2	1	1	-1	1,0	6,9	1,53631	1,67834	-0,14203
2	28	2	1	-1	-1	1,1	7,9	1,71812	1,77607	-0,05795
12	29	2	1	1	-1	1,1	8,6	1,78175	1,67834	0,10341
3	30	2	-1	1	-1	1,0	8,3	1,66357	1,63062	0,03295
6	31	2	1	-1	1	1,0	6,5	1,49995	1,65107	-0,15112
16	32	2	1	1	1	0,8	8,7	1,51811	1,55335	-0,03524

Oleh karena sampel minyak goreng yang digunakan pada replikasi 1, 2 dan replikasi 3, 4 berbeda, maka percobaan dibagi dalam dua blok. Hal ini dilakukan agar unit eksperimen dalam suatu blok relatif bersifat homogen sehingga dapat meningkatkan kepresisian eksperimen. Nilai respon yang baik adalah yang semakin rendah. Analisa data hasil eksperimen orde I adalah sebagai berikut:

1) Menghitung efek-efek faktor:

- Efek time (X_2) = -0.11364.
- Efek CA (X_3) = -0.13295.

2) Menyusun model dasar.

$$Y = 1.69652 + 0.00568 X_1 - 0.05682 X_2 - 0.06648 X_3 + 0.00795 X_1 X_2 + 0.00398 X_1 X_3 + 0.01420 X_2 X_3 - 0.01420 X_1 X_2 X_3 + \epsilon$$

3) Melakukan pengujian statistik

Tabel 3. Hasil Pengujian ANOVA Eksperimen Orde I

Source	Dof	SS	MS	F	p
Blocks	1	0.044993	0.044993	3.69	0.067
Main effects	3	0.245746	0.081915	6.72	0.002
• Temp	1				0.774
• Time	1				0.008
• CA	1				0.002
2-way interactions	3	0.008987	0.002996	0.25	0.863
3-way interactions	1	0.006455	0.006455	0.53	0.474
Residual error	23	0.280162	0.012181		
Lack of fit	7	0.140183	0.020026	2.29	0.081
Pure error	16	0.139979	0.008749		
Total	31	0.685344			

Dengan menggunakan $\alpha = 5\%$, diketahui bahwa faktor yang signifikan adalah *time* (X_2) dan CA (X_3).

4) Memperbaiki model.

Perbaikan model dilakukan setelah diketahui faktor-faktor yang signifikan, karena model baru hanya berisi faktor-faktor yang berpengaruh. Oleh karena yang berpengaruh adalah waktu pengadukan dan CA, maka rumusnya adalah:

$$Y = 1.69652 - 0.05682 X_2 - 0.06648 X_3 + \varepsilon.$$

5) Menganalisa residual.

Pemeriksaan asumsi residual (asumsi normalitas, homogenitas varians, independen) yang meliputi uji independen, uji identik dan uji kenormalan dilakukan dengan membuat plot menggunakan *software* Minitab 11. Dimana ketiga asumsi tersebut telah terpenuhi dan ANOVA dinyatakan valid.

6) Menginterpretasikan hasil akhir

Dari kelima analisa di atas, maka untuk eksperimen orde I ini, disimpulkan bahwa faktor yang signifikan adalah waktu pengadukan (X_2) dan CA (X_3). sehingga kedua variabel ini akan digunakan lebih lanjut untuk rancangan eksperimen orde II.

5. DESAIN DAN ANALISA EKSPERIMEN ORDE II

Dari analisa orde I. diperoleh dua faktor yang signifikan, maka pada rancangan eksperimen orde II ini terdapat 2 faktor yang akan diteliti. Dengan rancangan 3 level, diperoleh rumusan:

$$k = 2 \text{ faktor, maka } N = 3^k = 3^2 = 9 \text{ run}$$

$$\begin{aligned} \text{Total eksperimen} &= \text{jumlah run (N)} \times \text{jumlah replikasi} \\ &= 9 \times 2 = 18 \text{ eksperimen} \end{aligned}$$

Pengkodean level dan nilai level dari variabel yang ada pada rancangan eksperimen orde II ini dapat diketahui pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Kode & Nilai Level Eksperimen Orde II

Kode	-1	0	1
Waktu (X_2)	10 menit	15 menit	20 menit
% CA (X_3)	5%	10%	15%
	BE = 1,9 gr & CA = 0,1 gr	BE = 1,8 gr & CA = 0,2 gr	BE = 1,7 gr & CA = 0,3 gr

Karena pada orde I faktor temperatur tidak signifikan, maka level dari faktor temperatur dapat dipilih antara 90°C sampai 110°C. Pada rancangan eksperimen orde II, dipilih temperatur 90°C. Hal ini dikarenakan, menaikkan temperatur dari suhu ruangan sampai 90°C adalah lebih efisien, baik dari segi waktu maupun biaya. Pengolahan data orde II dapat dilihat di tabel berikut ini.

Tabel 5. Pengolahan Eksperimen Orde II

Temp	Time	CA	Red	Yellow	Response	FITS1	RESI1
-1	0	0	1,1	8,4	1,76357	1,77114	-0,00757
-1	-1	0	1,1	9,5	1,86356	1,72872	0,13484
-1	0	-1	1,0	11,8	1,98172	1,88780	0,09392
-1	-1	-1	1,0	10,5	1,86355	1,89310	-0,02955
-1	-1	0	1,1	7,3	1,66358	1,72872	-0,06514
-1	0	1	1,0	8,1	1,64539	1,66812	-0,02273
-1	-1	1	1,1	6,1	1,55450	1,57798	-0,02348
-1	0	0	1,1	8,5	1,77266	1,77114	0,00152
-1	1	1	1,2	8,3	1,84539	1,78099	0,06440
-1	0	1	1,1	6,5	1,59086	1,66812	-0,07726
-1	1	-1	1,2	9,0	1,90902	1,90522	0,00380
-1	1	0	1,0	10,1	1,82719	1,83629	-0,00910
-1	1	-1	1,1	9,7	1,88174	1,90522	-0,02348
-1	-1	-1	1,0	10,2	1,83628	1,89310	-0,05682
-1	0	-1	1,1	9,9	1,89992	1,88780	0,01212
-1	1	1	1,1	8,8	1,79993	1,78099	0,01894
-1	1	0	1,1	8,6	1,78175	1,83629	-0,05454
-1	-1	1	1,0	7,8	1,61812	1,57798	0,04014

Analisa data eksperimen orde II adalah sebagai berikut:

1) Menganalisa residual.

Pengujian residual pada desain faktorial 3^k adalah sama dengan pengujian residual pada desain faktorial 2^k. Ketiga asumsi residual juga sudah terpenuhi, maka pengujian ANOVA dinyatakan valid dan dapat diteruskan ke analisa selanjutnya.

2) Menyusun model dasar.

Cara sama seperti pada orde I, sehingga rumusan model dasar tersebut adalah sebagai berikut: $Y = 1.7711 + 0.0538 X_2 - 0.1098 X_3 + 0.0114 X_2X_2 + 0.0068 X_3X_3 - 0.0477 X_2X_3 + \epsilon$

3) Pengujian statistik.

Hasil dari tabel ANOVA dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian ANOVA Eksperimen Orde II

Source	dof	SS	MS	F	p
Regression	5	0.198405	0.039681	9.10	0.001
• Linear	2	0.179484	0.089742	20.58	0.000
~ Time	1				0.015
~ CA	1				0.000
• Square	2	0.000702	0.000351	0.08	0.923
• Interaction	1	0.018219	0.018219	4.18	0.064
Residual error	12	0.052332	0.04361		
Lack of fit	3	0.022629	0.007543	2.29	0.148
Pure error	9	0.029703	0.003300		
Total	17	0.250737			

Dari tabel di atas dengan $\alpha = 5\%$, diketahui bahwa yang signifikan adalah faktor waktu pengadukan (X_2), faktor CA (X_3), karena $P_{\text{value}} < 5\%$. Sedangkan untuk faktor interaksi waktu pengadukan-CA terdapat nilai sedikit di atas 5%. Hal ini perlu diuji lagi.

4) Memperbaiki model dasar.

Dalam rangka mengantisipasi variabel dengan p value sedikit di atas 5%, dilakukan pengujian ulang. Dari hasil pengujian ulang diperoleh hasil ANOVA sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil Perbaikan ANOVA Eksperimen Orde II

Source	dof	SS	MS	F	P
Regression	3	0.19770	0.065901	17.40	0.000
• Linear	2	0.17948	0.089742	23.69	0.000
~ Time	1				0.009
~ CA	1				0.000
• Interaction	1	0.01822	0.018219	4.81	0.046
Residual error	14	0.05303	0.003788		
Lack of fit	5	0.02333	0.004666	1.41	0.307
Pure error	9	0.029703	0.003300		
Total	17	0.25074			

Dari tabel di atas terlihat bahwa p value dari faktor interaksi menurun menjadi 4,6%, maka interaksi tersebut termasuk faktor yang signifikan. Sehingga rumusan model yang telah diperbaiki menjadi:

$$Y = 1.7833 + 0.0538 X_2 - 0.1098 X_3 + 0.0477 X_2 X_3 + \varepsilon$$

Selain itu dari *lack of fit*, diketahui bahwa tidak ada kesenjangan model. Hal ini dapat dibuktikan dari nilai *lack of fit*-nya, yaitu $F_0(1,41) < F_{\text{tabel}}(3,48)$. Nilai dari F_{tabel} dapat diketahui dari tabel distribusi F. Untuk nilai R^2_{adj} juga mengalami peningkatan, yang menunjukkan bahwa setelah perbaikan model, R^2_{adj} meningkat dari 70,4 % menjadi 74,3 %. Hal ini menunjukkan bahwa model semakin baik.

5) Menentukan model optimasi.

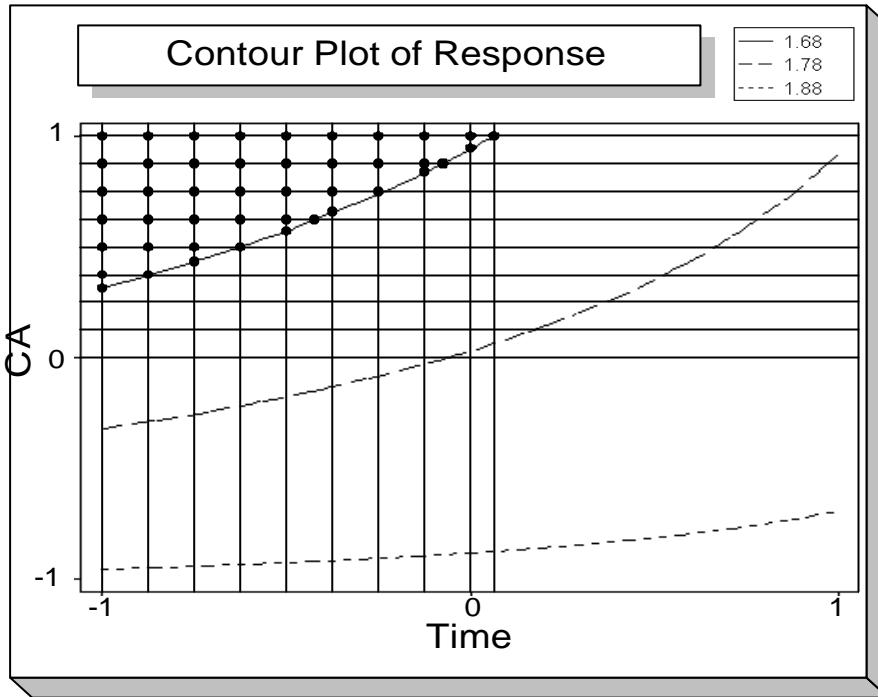
Karena dari analisa *lack of fit* di atas menyatakan bahwa tidak ada kesenjangan model, maka model optimasinya adalah:

$$Y = 1.7833 + 0.0538 X_2 - 0.1098 X_3 + 0.0477 X_2 X_3 + \varepsilon$$

6) Menentukan kondisi optimum

Setelah model optimasi ditentukan, langkah selanjutnya adalah menentukan kondisi optimum dari faktor-faktor yang signifikan. Dari gambar *contour plot* di bawah ini dapat disimpulkan bahwa gambar tersebut tidak memiliki titik stasioner. Sehingga perhitungan titik stasioner dan karakteristik permukaan respon tidak perlu dilakukan.

Gambar *contour plot* tersebut dibagi menjadi koordinat-koordinat titik seperti gambar di atas, sehingga kita dapat mengetahui nilai respon secara tepat. Nilai koordinat titik-titik tersebut tercantum pada tabel di bawah ini.



Gambar 1. Contour Plot of Response

Tabel 8. Koordinat Titik-Titik Optimum

Titik	Time	CA	Titik	Time	CA	Titik	Time	CA
1	0,0625	1	16	-0,5	0,875	31	-0,5	0,625
2	0	1	17	-0,625	0,875	32	-0,625	0,625
3	-0,125	1	18	-0,75	0,875	33	-0,75	0,625
4	-0,25	1	19	-0,875	0,875	34	-0,875	0,625
5	-0,375	1	20	-1	0,875	35	-1	0,625
6	-0,5	1	21	-0,125	0,8125	36	-0,5	0,5625
7	-0,625	1	22	-0,25	0,75	37	-0,625	0,5
8	-0,75	1	23	-0,375	0,75	38	-0,75	0,5
9	-0,875	1	24	-0,5	0,75	39	-0,875	0,5
10	-1	1	25	-0,625	0,75	40	-1	0,5
11	0	0,875	26	-0,75	0,75	41	-0,75	0,4375
12	-0,0625	0,875	27	-0,875	0,75	42	-0,875	0,375
13	-0,125	0,875	28	-1	0,75	43	-1	0,375
14	-0,25	0,875	29	-0,375	0,6875	44	-1	0,3125
15	-0,375	0,875	30	-0,4375	0,625			

Untuk perhitungan nilai respon dari masing-masing titik dengan menggunakan bobot dan nilai levelnya dapat dilihat di tabel berikut ini.

Tabel 9. Koordinat Titik-Titik Optimum

Titik	<i>Time</i> (menit)	CA(%)	<i>Response</i>	Biaya (Rp./gram)
1	15,3125	15,0000	1,679843750	2,495000000
2	15,0000	15,0000	1,673500000	2,495000000
3	14,3750	15,0000	1,660812500	2,495000000
4	13,7500	15,0000	1,648125000	2,495000000
5	13,1250	15,0000	1,635437500	2,495000000
6	12,5000	15,0000	1,622750000	2,495000000
7	11,8750	15,0000	1,610062500	2,495000000
8	11,2500	15,0000	1,597375000	2,495000000
9	10,6250	15,0000	1,584687500	2,495000000
10	10,0000	15,0000	1,572000000	2,495000000
11	15,0000	14,6875	1,680362500	2,478438000
12	14,6875	14,3750	1,681253906	2,461875000
13	14,3750	14,3750	1,675282813	2,461875000
14	13,7500	14,3750	1,663340625	2,461875000
15	13,1250	14,3750	1,651398438	2,461875000
16	12,5000	14,3750	1,639456250	2,461875000
17	11,8750	14,3750	1,627514063	2,461875000
18	11,2500	14,3750	1,615571875	2,461875000
19	10,6250	14,3750	1,603629688	2,461875000
20	10,0000	14,3750	1,591687500	2,461875000
21	14,3750	14,0625	1,682517969	2,445313000
22	13,7500	13,7500	1,678556250	2,428750000
23	13,1250	13,7500	1,667359375	2,428750000
24	12,5000	13,7500	1,656162500	2,428750000
25	11,8750	13,7500	1,644965625	2,428750000
26	11,2500	13,7500	1,633768750	2,428750000
27	10,6250	13,7500	1,622571875	2,428750000
28	10,0000	13,7500	1,611375000	2,428750000
29	13,1250	13,4375	1,675339844	2,412188000
30	12,8125	13,1250	1,678094531	2,395625000
31	12,5000	13,1250	1,672868750	2,395625000
32	11,8750	13,1250	1,662417188	2,395625000
33	11,2500	13,1250	1,651965625	2,395625000
34	10,6250	13,1250	1,641514063	2,395625000
35	10,0000	13,1250	1,631062500	2,395625000
36	12,5000	12,8125	1,681221875	2,379063000
37	11,8750	12,5000	1,679868750	2,362500000
38	11,2500	12,5000	1,670162500	2,362500000
39	10,6250	12,5000	1,660456250	2,362500000
40	10,0000	12,5000	1,650750000	2,362500000
41	11,2500	12,1875	1,679260938	2,345938000
42	10,6250	11,8750	1,679398438	2,329375000
43	10,0000	11,8750	1,670437500	2,329375000
44	10,0000	11,5625	1,680281250	2,312813000

6. PENENTUAN BIAYA ZAT PEMUTIH

Sebelumnya kita perlu mengetahui harga dari masing-masing zat pemutih, yakni sebagai berikut:

- *Bleaching earth* : Rp. 850,- per kg atau Rp. 0,85,- per gram.
- *Carbon active* : Rp. 3.500,- per kg atau Rp. 3,5,- per gram.

Rumus untuk memudahkan perhitungan total biaya zat pemutih:

$$\text{Total biaya} = (0,85 \times \text{BE}) + (3,5 \times \text{CA})$$

Respon optimum yang telah dicapai dari analisa di atas masih belum mempertimbangkan biaya zat pemutihnya. Dalam bagian ini, biaya zat pemutih untuk masing-masing titik diperoleh dari persamaan di atas dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 9.

Untuk mencapai tujuan dari penelitian penelitian ini, perlu dibandingkan dengan respon, biaya dan kadar yang dicapai oleh perusahaan.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh perusahaan menghasilkan:

- kadar warna *red* = 1 dan *yellow* = 10, sehingga respon = 1,8181.
- %CA = 10 %. BE = 1,8 gram dan CA = 0,2 gram.

Jadi total biaya zat pemutih yang digunakan adalah Rp. 2,23,-. Suhu = 100°C dan waktu pengadukan = 10-15 menit. Kadar ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian menggunakan metode *Response Surface*, namun biayanya lebih rendah. Jadi hasil penelitian memiliki respon yang cukup jauh lebih baik dibandingkan hasil yang pernah dicapai oleh perusahaan. Lalu dilakukan analisa untuk memilih kondisi paling optimum dipertimbangkan biaya zat pemutihnya.

Tabel 10. Seleksi Titik Optimum

Titik	Titik Optimum	Time	CA	Response	Biaya
1-10	10	10	15	1,572	2,495
11-20	20	10	14,375	1,5916875	2,461875
21-28	28	10	13,75	1,611375	2,42875
29-35	35	10	13,125	1,6310625	2,395625
36-40	40	10	12,5	1,65075	2,3625
41-43	43	10	11,875	1,6704375	2,329375
44	44	10	11,5625	1,68028125	2,312813

Dari seleksi titik di atas, maka kondisi optimum ini bergantung pada kebijaksanaan perusahaan, dimana kesimpulannya dapat dilihat di bawah ini.

7. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal, antara lain:

- Model optimasi yang sesuai adalah:

$$Y = 1,7833 + 0,0538 X_2 - 0,1098 X_3 + 0,0477 X_2X_3 + \epsilon$$

- Kondisi proses optimum pada suhu 90°C bergantung kebijaksanaan yang dipilih, yaitu:
 - 1) Jika yang diinginkan adalah respon terbaik tanpa peduli biaya zat pemutih, maka kondisi optimumnya pada saat waktu pengadukan 10 menit, BE = 1,7 gram dan CA = 0,3 gram. Respon yang dicapai adalah 1,52 dengan biaya zat pemutih Rp. 2,495,.-
 - 2) Jika biaya zat pemutih dan respon menjadi pertimbangan, maka kondisi optimumnya pada saat waktu pengadukan 10 menit, BE = 1,76875 gram, CA = 0,23125 gram. Respon yang dicapai adalah 1,68028125 dengan biaya zat pemutih Rp. 2,312813,-.
 - 3) Perusahaan dapat menyesuaikan antara kebutuhan akan respon dan biaya yang dikehendaki dengan kondisi optimum lainnya.
- Untuk kondisi optimum 2, dibandingkan dengan hasil laboratorium, penurunan respon sebesar 0,1378187 mempunyai arti cukup besar untuk lebih memutihkan warna minyak goreng, meskipun biayanya sedikit lebih mahal yaitu Rp. 0,083 per 100 gram minyak goreng.

DAFTAR PUSTAKA

- Montgomery C., Douglas. 1997. *Design and Analysis of Experiments*, Fourth edition, New York: John Wiley and Sons.
- Box, G.E.P., Hunter, W.G. and Hunter, J.S. 1978. *Statistics for Experimenters, An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building*, New York: John Wiley and Sons.
- Bhattacharyya, Gouri & Johnson, Richard, 1996. *Statistical Principles and Methods*, Third edition, Canada: John Wiley and Sons.
- Hinkelmann, Klaus & Kempthorne, Oscar, 1994. *Design and Analysis of Experiments*, First edition, New York: John Wiley and Sons.
- Sudjana, 1994. *Desain dan Analisis Eksperimen*, edisi 3, Bandung: Tarsito.
- Finney, D.J., 1995. *Experimental Design and Its Statistical Basis*, London: The University of Chicago.