

PENDEKATAN METODE TAGUCHI DALAM MENINGKATKAN KUALITAS PROSES PEMBUATAN PRODUK SABUN CAIR PENCUCI PIRING DI PT SM

Wilson Kosasih¹, L. Laricha Salomon, Henny C.
Program Studi Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara
Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta Barat 14440
Email: kosasih_wilson@yahoo.com¹

Abstrak

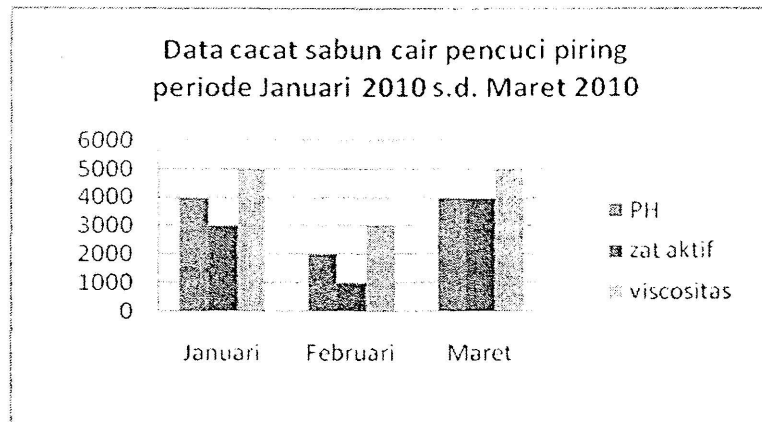
PT SM merupakan perusahaan industri yang bergerak di bidang pembuatan sabun cair. Dalam memproduksi sabun cair ditemukan produk yang cacat akibat perbedaan viskositas, dimana, pihak perusahaan menetapkan kriteria sabun cair yang berkualitas memiliki viskositas berkisar antara 9,5 – 10 poise. Berdasarkan data yang dikumpulkan dan diolah dengan peta kendali \bar{X} -R dan Cp diketahui bahwa kriteria tersebut masih belum terkendali dan juga kapabilitas proses teridentifikasi masih rendah. Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan kualitas proses pada proses produksi produk sabun cair tersebut dengan cara menentukan setting parameter yang optimal. Berdasarkan diagram tulang ikan yang dibuat, diperoleh bahwa terdapat 3 faktor yang mempengaruhi viskositas, antara lain: 1) massa garam; 2) kecepatan putar pengadukan; dan 3) volume air. Jumlah dan nilai level tiap faktor yang diujikan dalam percobaan diperoleh berdasarkan hasil *brainstroming* dan batas *max-min* yang diijinkan. Berdasarkan pengolahan hasil eksperimen dengan metode *taguchi*, diperoleh setting proses yang lebih berkualitas dengan parameter berikut: 1) jumlah garam sebanyak 8.000 gram; 2) kecepatan putar pengadukan sebesar 30 rpm; dan 3) volume air 900 liter.

Kata kunci: viskositas, kualitas, eksperimen, metode *taguchi*.

1. Pendahuluan

PT SM merupakan salah satu perusahaan industri manufaktur yang bergerak dalam bidang *house hold chemical* yang memproduksi berbagai macam sabun, antara lain: sabun colek, sabun cair pencuci piring, *glass cleaner*, karbol, sabun pencuci tangan, dan detergen. Kualitas suatu produk dapat diukur berdasarkan kecocokan antara performansi aktual yang ditunjukkan oleh suatu produk terhadap spesifikasi standar yang ditetapkan/dipersyaratkan oleh konsumen. Dalam upaya menghasilkan produk dengan deviasi minimum dari targetnya, atau dengan kata lain tingkat keseragaman yang tinggi, PT SM terus melakukan pengendalian kondisi proses dengan mengamati karakteristik kualitas dari produk maupun parameter proses. Penelitian akan difokuskan pada produk sabun pencuci piring karena tingginya tingkat permintaan akan produk itu. Oleh karena itu, perlu kiranya pihak perusahaan meningkatkan kapabilitas proses produksi produk tersebut sehingga mampu memenuhi target produksi sesuai jadwal dan meminimumkan biaya kualitas yang dibutuhkan. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan terdapat tiga karakteristik kualitas pada produk sabun cair pencuci piring, yaitu: (1) tingkat keasaman (pH), (2) zat aktif, dan (3) ukuran viskositas. Gambar 1 menunjukkan bahwa selama periode Januari 2010–Maret 2010 jenis cacat yang paling banyak adalah cacat viskositas. Oleh karena itu, selanjutnya perlu ditemukan dan dianalisis akar penyebab cacat viskositas itu. Tingkat viskositas pada produk berpengaruh pada kekentalan produk sabun cair dan seringkali terjadi ketidakseragaman di dalam proses

akibat interaksi antar-parameter yang tidak teridentifikasi. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh pada kualitas viskositas produk sabun cair pencuci piring, dan mendapatkan *setting* parameter yang lebih optimal dengan melakukan desain eksperimen Taguchi.



Gambar 1. Data cacat historis produksi sabun cair pencuci piring

2. Pendekatan Pemecahan Masalah

Metode Taguchi diprakarsai pertama kali oleh Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapat tugas untuk memperbaiki sistem komunikasi di Jepang. Metode ini difokuskan untuk memperbaiki perancangan proses dan produk sehingga ketika diaplikasikan pada perancangan proses, metode ini dapat meningkatkan kapabilitas proses. Taguchi menghasilkan disiplin dan struktur dari desain eksperimen. Adapun konsep Taguchi adalah:

1. Kualitas seharusnya didesain ke dalam produk dan bukan diinspeksi ke dalamnya.
2. Kualitas dapat dicapai dengan meminimasi deviasi target. Produk harus di desain sedemikian rupa sehingga tidak terpengaruh oleh faktor-faktor lingkungan yang tidak terkontrol.
3. Biaya dari kualitas seharusnya diperhitungkan sebagai fungsi deviasi dari standar yang ada dan kerugiannya harus diperhitungkan juga ke dalam sistem.

Berikut merupakan tujuh *point* dari Taguchi yang membedakannya dengan pendekatan tradisional dalam manajemen kualitas, antara lain: (Bagchi, 1993)

1. Dimensi penting dari kualitas produk yang diproduksi adalah total kerugian yang diteruskan oleh produk tersebut ke konsumen.
2. Dalam era ekonomi yang penuh persaingan, perbaikan kualitas secara terus-menerus dan pengurangan biaya adalah penting untuk bertahan dalam bisnis.
3. Perbaikan yang terus-menerus meliputi pengurangan variasi dari karakteristik produk dari nilai target mereka.
4. Kerugian yang diderita konsumen akibat produk bervariasi seringkali mendekati proporsi deviasi kuadrat dari karakteristik dari nilai targetnya.
5. Kualitas akhir dan biaya proses produksi ditentukan oleh perluasan yang besar dari desain enjineriing dari produk dan proses produksinya.
6. Variasi dari produk atau proses dapat dikurangi dengan mengeksplorasi efek non-linier dari parameter produk atau proses pada karakteristiknya.

7. Desain eksperimen statistik dapat digunakan untuk mengidentifikasi *setting* parameter dari produk atau proses yang akhirnya dapat mengurangi variasi.

Berikut merupakan langkah-langkah pengolahan data yang dilakukan, yaitu:

1. Membuat peta kendali dengan menggunakan data pengamatan untuk mengetahui apakah kualitas viskositas berada dalam kendali, atau tidak.
2. Melakukan pengukuran kapabilitas proses untuk mengetahui kinerja proses produksi sabun cair pencuci piring saat ini.
3. Membuat diagram sebab akibat untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh pada kualitas viskositas pada sabun cair pencuci piring di PT SM.
4. Menentukan faktor yang paling berpengaruh terhadap kualitas viskositas sabun cair pencuci piring.
5. Melakukan percobaan dengan menggunakan metode eksperimen Taguchi dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Menentukan jumlah level dan nilai level tiap faktor
Jumlah dan nilai level tiap faktor tersebut diperoleh berdasarkan hasil wawancara langsung dengan pihak perusahaan terkait dengan kebijaksanaan perusahaan.
 - b. Identifikasi interaksi antar faktor
Interaksi antar faktor diperoleh berdasarkan hasil tanya jawab dengan pihak perusahaan yang terkait.
 - c. Perhitungan derajat kebebasan
Tujuan dari dilakukannya perhitungan derajat kebebasan ini ialah untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk faktor-faktor yang diamati.
 - d. Pemilihan *Orthogonal array* (OA) yang sesuai
Pemilihan *Orthogonal array* (OA) ini ditentukan berdasarkan jumlah level faktor yang diamati dan jumlah derajat kebebasannya (*degree of freedom* – DoF).
 - e. Penugasan faktor dan interaksi pada *orthogonal array* (OA)
Penugasan faktor dan interaksi pada pemilihan *orthogonal array* (OA) ini dilakukan dengan bantuan grafik linier.
 - f. Persiapan dan pelaksanaan percobaan Taguchi
Tahap persiapan percobaan ini meliputi penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan percobaan.
 - g. Perhitungan ANOVA
Sebelumnya dilakukan perhitungan efek faktor utama. Kemudian dilakukan perhitungan ANOVA dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang berpengaruh secara signifikan terhadap karakteristik kualitas produk. Kemudian dilakukan perhitungan kontribusi faktor yang berpengaruh secara signifikan tersebut.
 - h. Pemilihan *setting level optimum*
Tahap ini merupakan kesimpulan dari hasil pengolahan percobaan, berupa penentuan level faktor-faktor yang berpengaruh.

3. Pengumpulan & Pengolahan Data

Kapasitas produksi sabun cair pencuci piring di PT SM sebesar 2.000 liter per hari, dimana per harinya sebanyak 2 shift dengan spesifik per shift adalah 1.000 liter sabun cair yang dihasilkan. Jenis-jenis bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan sabun cair pencuci piring adalah:

1. LABS (*Linear Alcil Benzen Sulfonic Acid*)

LABS adalah zat utama digunakan dalam pembuatan berbagai macam sabun. Dalam LABS ini mengandung suatu zat yang dapat meningkatkan busa secara signifikan serta mempunyai kandungan zat aktif yang dapat mengangkat lemak.

2. *Caustic* soda (NaOH)

Caustic soda (NaOH) digunakan sebagai pengontrol pH, sehingga akan didapat sabun dengan pH normal. Di samping itu, *Caustic* soda (NaOH) juga dapat meningkatkan busa.

3. *Sodium Lauryl Ether Sulfat*

Sodium Lauryl Ether Sulfat digunakan untuk membantu meningkatkan busa.

4. Air yang telah di demineralisasikan

Air yang digunakan adalah air telah di-demineralisasikan. Dengan tujuan agar zat logam dan mineral yang terkandung dalam air telah dihilangkan, sehingga busa yang terbentuk di sabun tidak terikat dengan zat logam dan mineral yang terdapat pada air.

5. Garam (*Technical Natrium Chlorida*)

Garam disini mempunyai fungsi sebagai pengawet agar sabun dapat bertahan lebih lama. Disamping itu penggunaannya lebih ditujukan sebagai pengental sabun cair.

6. Pewarna (*dyes*)

Digunakan untuk memberi warna dalam cairan sabun.

7. Zat pengawet

Zat pengawet disini mempunyai fungsi sebagai *bacterishid* sehingga akan didapat sabun cair yang tidak mudah terkontaminasi oleh bakteri.

Proses produksi pada pembuatan sabun cair pencuci piring di PT SM ini dibagi menjadi 6 tahap, yaitu:

1. Pertama-tama dilakukan pencampuran antara LABS dan *causticsoda* dengan kecepatan 30 rpm hingga merata selama lebih kurang 3 menit.
2. Setelah tercampur merata, LABS dan *caustic* dimasukkan kedalam air sambil diaduk dengan kecepatan 20 rpm.
3. Selanjutnya dimasukkan Emal, zat pewarna, parfum serta pengawet satu persatu diaduk hingga merata.
4. Setelah semua teraduk secara merata, garam dimasukkan secara perlahan-lahan dengan tujuan agar tercapai kekentalan yang diinginkan, dengan kecepatan mesin ditingkatkan hingga 50 rpm.
5. Setelah proses pengadukan semua bahan selesai, semua larutan dipindahkan ke dalam drum penampungan dengan menggunakan alat bantu pompa.
6. Dari drum penampungan sabun cair akan di-*packing* sesuai dengan ukuran masing-masing dengan menggunakan *filling machine*.

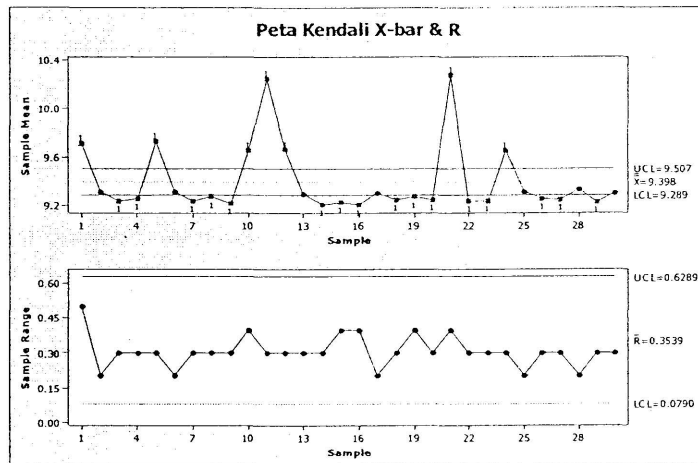
Tabel 1 berikut ini merupakan data-data hasil pengukuran viskositas dari proses pengadukan sabun cair dari tanggal 1 April 2010 hingga 11 Mei 2010. Dalam 1 hari dilakukan pengambilan 10 titik kritis yang berbeda secara acak, yang diambil bergantian antara shift 1 atau shift 2 dengan menggunakan alat *viscometer*. Pengukuran dilakukan pada saat pengadukan selesai. Selanjutnya hasil pengukuran itu akan diolah menjadi peta kendali dan kapabilitas proses untuk mengetahui apakah proses telah terkendali atau tidak, serta mengetahui apakah proses telah mampu menghasilkan produk sesuai dengan target CTQ proses yang disyaratkan.

Tabel 1. Hasil pengukuran viskositas produk sabun cair pencuci piring

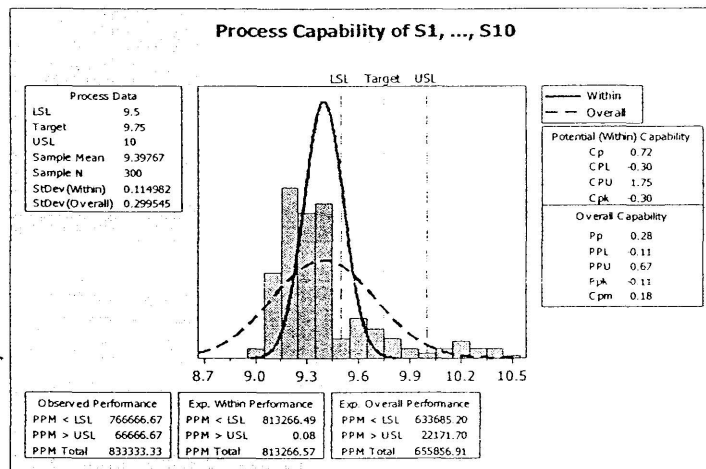
Tanggal Pengukuran	Ukuran viskositas (<i>poise</i>)									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
1-Apr-10	10	9,7	9,7	9,6	9,6	9,5	9,6	9,5	9,9	10
2-Apr-10	9,4	9,3	9,4	9,2	9,3	9,3	9,4	9,2	9,2	9,4
5-Apr-10	9,2	9,2	9,1	9,3	9,4	9,2	9,3	9,4	9,1	9,2
6-Apr-10	9,3	9,4	9,2	9,1	9,4	9,3	9,4	9,2	9,2	9,1
7-Apr-10	9,7	9,6	9,8	9,9	9,8	9,7	9,9	9,7	9,6	9,6
8-Apr-10	9,4	9,4	9,2	9,2	9,2	9,3	9,4	9,3	9,3	9,4
9-Apr-10	9,3	9,2	9,1	9,1	9,2	9,3	9,3	9,3	9,4	9,2
12-Apr-10	9,2	9,3	9,4	9,2	9,1	9,4	9,4	9,2	9,2	9,3
13-Apr-10	9,1	9,2	9,2	9,1	9,1	9,2	9,2	9,4	9,3	9,4
14-Apr-10	9,5	9,5	9,6	9,7	9,6	9,7	9,6	9,9	9,8	9,6
15-Apr-10	10,2	10,3	10,4	10,2	10,1	10,2	10,3	10,4	10,2	10,1
16-Apr-10	9,5	9,8	9,6	9,8	9,8	9,7	9,7	9,6	9,6	9,5
19-Apr-10	9,4	9,1	9,3	9,2	9,3	9,4	9,2	9,4	9,3	9,3
20-Apr-10	9,2	9,1	9,2	9,3	9,1	9,4	9,2	9,2	9,3	9,1
21-Apr-10	9,4	9,4	9,3	9,2	9,2	9,0	9,0	9,2	9,3	9,3
22-Apr-10	9,4	9,0	9,2	9,2	9,3	9,3	9,1	9,3	9,1	9,2
23-Apr-10	9,2	9,3	9,4	9,3	9,4	9,2	9,3	9,2	9,4	9,3
26-Apr-10	9,2	9,1	9,2	9,3	9,4	9,1	9,1	9,4	9,3	9,4
27-Apr-10	9,4	9,2	9,0	9,2	9,4	9,4	9,3	9,1	9,4	9,3
28-Apr-10	9,2	9,3	9,4	9,4	9,1	9,2	9,2	9,4	9,1	9,2
29-Apr-10	10,2	10,2	10,3	10,4	10,5	10,1	10,1	10,2	10,3	10,4
30-Apr-10	9,4	9,3	9,3	9,2	9,2	9,1	9,2	9,1	9,2	9,4
3-May-10	9,4	9,3	9,3	9,2	9,1	9,4	9,2	9,3	9,1	9,1
4-May-10	9,5	9,6	9,5	9,6	9,7	9,8	9,6	9,7	9,8	9,7
5-May-10	9,4	9,3	9,3	9,4	9,2	9,3	9,2	9,2	9,4	9,4
6-May-10	9,4	9,2	9,1	9,3	9,4	9,2	9,2	9,3	9,4	9,1
7-May-10	9,4	9,2	9,3	9,2	9,4	9,3	9,1	9,1	9,2	9,3
8-May-10	9,4	9,3	9,4	9,3	9,2	9,2	9,4	9,3	9,4	9,4
10-May-10	9,3	9,2	9,3	9,1	9,4	9,2	9,2	9,4	9,1	9,1
11-May-10	9,4	9,2	9,3	9,3	9,4	9,4	9,3	9,1	9,4	9,2

Gambar 2 adalah hasil pengolahan peta kendali X-bar dan R berdasarkan data yang diperoleh, dimana terilustrasikan bahwa proses saat ini belum terkendali dan tidak stabil, bahkan cenderung di luar batas nilai viskositas yang distandarkan, yaitu 9,5 poise s.d. 10,0 poise. Kapabilitas proses (lihat Gambar 3) terindikasi masih rendah, sebesar 0,72 ($C_p < 1$). Karena nilai rata-rata viskositas tidak sama ataupun mendekati nilai target ($T = 9,75$ poise). Maka, nilai C_p tidak dapat dijadikan satu-satunya acuan pengukuran kinerja proses saat ini. Dan,

melalui indeks $Cpk = -0,03$ terdeskripsikan bahwa kinerja proses menghasilkan ukuran viskositas yang masih jauh dari spesifikasi standar yang ditargetkan, dan juga memiliki tendensi bergeser hingga berada di bawah LSL CTQ proses yang diinginkan.



Gambar 2. Hasil pengolahan peta kendali X-bar dan R untuk ukuran viskositas



Gambar 3. Hasil pengukuran kapabilitas proses

4. Analisis Dan Hasil

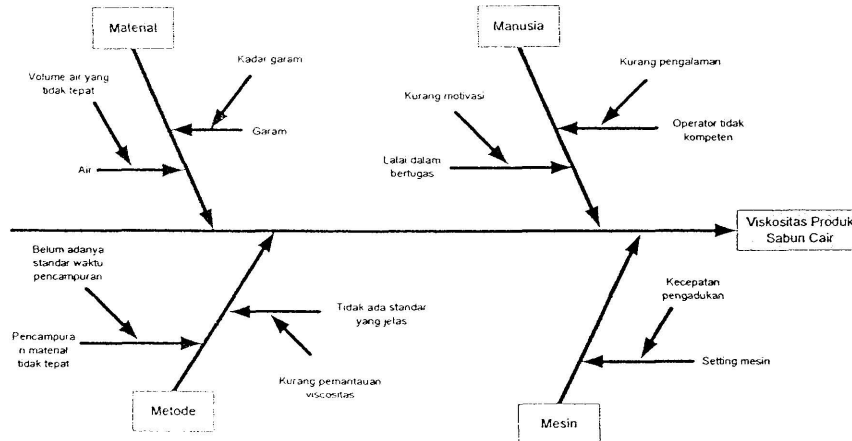
Berdasarkan hasil *brainstorming* dan analisis menggunakan diagram sebab-akibat didapatkan beberapa faktor yang dapat dikendalikan dan berpengaruh terhadap viskositas (lihat Gambar 4) adalah sebagai berikut:

- Kecepatan putaran
Kecepatan putaran mesin yang digunakan dalam pengadukan semua material sabun cair.
- Massa garam

Jumlah garam disesuaikan dengan semua material yang digunakan agar tercapai viskositas yang diharapkan.

c. Volume air

Total air yang digunakan dalam proses pencampuran semua material pembuatan sabun cair, dimana jumlah *solvent* ini mempunyai perbandingan tertentu dengan berat keseluruhan material.



Gambar 4. Diagram sebab-akibat viskositas produk sabun cair

Berdasarkan hasil diskusi dengan pihak perusahaan yang bersangkutan, jumlah level yang digunakan adalah 2 level, dimana Tabel 2 menunjukkan nilai level pengujian tiap faktor yang masih dalam *range* yang diijinkan (dengan batas spekulasi yang rendah).

Tabel 2. Faktor kontrol dengan level-level yang diujikan

Faktor	Notasi	Level 1	Level 2	Satuan
Kecepatan Putaran	A	20	30	rpm
Massa Garam	B	8000	7900	gram
Volume Air	C	950	900	Liter

Percobaan Taguchi dilakukan dengan memilih orthogonal array $L_8(2^3)$. Pada tahap persiapan dilakukan penentuan jumlah replikasi dan urutan pelaksanaan percobaan yang dirandom menggunakan *software* Minitab 15. Replikasi dalam percobaan ini dilakukan sebanyak 2 kali, untuk mendapatkan tingkat ketelitian yang lebih tinggi (lihat hasilnya pada Tabel 3).

Tabel 3. Hasil percobaan dengan 2 replikasi

Trial	A	B	C	Hasil Viskositas (poise)	
				Y1	Y2
1	1	1	1	9,3	9,2
2	1	1	2	9,9	9,7
3	1	2	1	9,4	9,3
4	1	2	2	9,3	9,2
5	2	1	1	10,2	9,5
6	2	1	2	9,3	9,4
7	2	2	1	9,3	9,1
8	2	2	2	9,5	9,2

Linear Model Analysis: Viskositas vs. kecepatan putar., Massa garam, Volume air

Estimated Model Coefficients for means (viskositas)

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	9.42500	0.1625	58.000	0.011
kecepatan putar	-0.01250	0.1625	-0.077	0.951
Massa garam	0.13750	0.1625	0.846	0.553
Volume air	-0.01250	0.1625	-0.077	0.951
kecepatan*Massa garam	-0.02500	0.1625	-0.154	0.903
kecepatan*Volume air	-0.10000	0.1625	-0.615	0.649
Massa garam*Volume air	-0.00000	0.1625	-0.000	1.000

S = 0.4596 R-Sq = 53.1% R-Sq(adj) = 0.0%

Gambar 5. Perhitungan *estimated model coefficients* semua faktor kontrol dan interaksinya terhadap nilai viskositas sabun cair pencuci piring

Analysis of Variance for means (viskositas)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
kecepatan putar	1	0.001250	0.001250	0.001250	0.01	0.951
Massa garam	1	0.151250	0.151250	0.151250	0.72	0.553
Volume air	1	0.001250	0.001250	0.001250	0.01	0.951
kecepatan putar*Massa garam	1	0.005000	0.005000	0.005000	0.02	0.903
kecepatan putar*Volume air	1	0.080000	0.080000	0.080000	0.38	0.649
Massa garam*Volume air	1	0.000000	0.000000	0.000000	0.00	1.000
Residual Error	1	0.211250	0.211250	0.211250		
Total	7	0.450000				

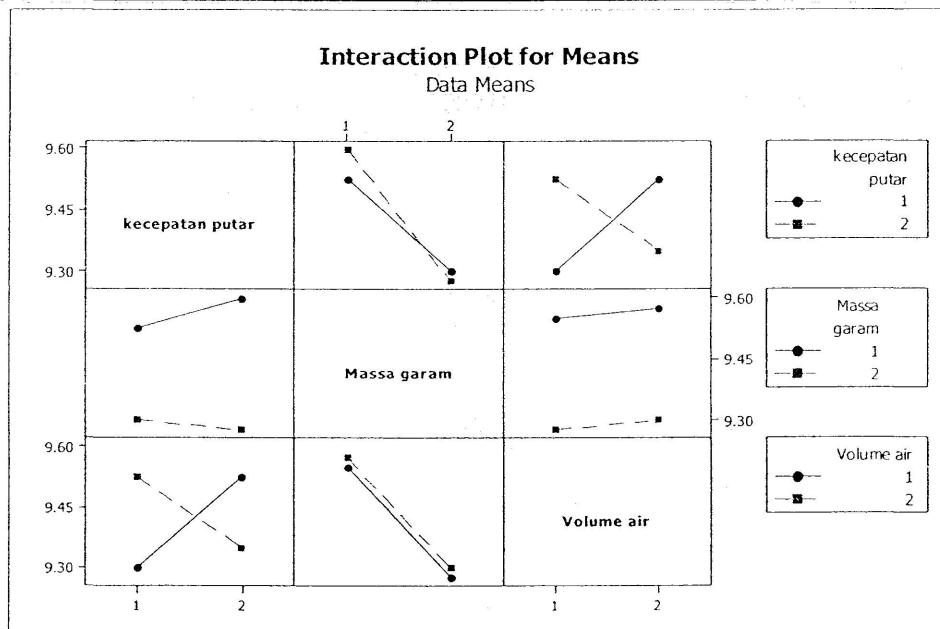
Gambar 6. Perhitungan ANOVA semua faktor kontrol dan interaksinya terhadap nilai viskositas sabun cair pencuci piring

Berdasarkan hasil percobaan Taguchi diperoleh kesemua faktor tidak signifikan mempengaruhi viskositas sabun cair tersebut karena perhitungan ANOVA menunjukkan $P\text{-value} > 0,05$ dan $F_{hitung} < F_{tabel}$ untuk kesemua faktor.

Tabel 4. Respons rata-rata viskositas sabun cair dari pengaruh faktor kontrol dan interaksinya

Level \ Faktor	Kecepatan putaran (A)	Massa garam (B)	Volume air (C)	Interaksi A*B	Interaksi A*C	Interaksi B*C
Level 1	9,412	9,563	9,413	9,400	9,325	9,425
Level 2	9,438	9,287	9,438	9,450	9,525	9,425
Delta (Δ)	0,025	0,275	0,025	0,050	0,200	0,000
Rank	4	1	5	3	2	6

Tabel 4 memperlihatkan bahwa kombinasi level faktor optimum dicapai pada nilai rata-rata respons viskositas sabun cair dengan nilai mendekati batas spesifikasi yang disyaratkan (*nominal is best*), yaitu faktor A sebesar 30 rpm (level 2), faktor B sebesar 8.000 gram (level 1), dan faktor C sebesar 900 Liter (level 2). Gambar 7 menunjukkan terjadi interaksi relatif kuat antara kecepatan putaran level 1 dan volume air level 2 (atau sebaliknya), dan terdapat interaksi yang lemah antara kecepatan putaran level 2 dan massa garam level 1. Namun, kedua interaksi tersebut juga tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai viskositas sabun cair.



Gambar 7. Grafik interaksi antarfaktor berdasarkan nilai rata-rata viskositas

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan Taguchi dapat disimpulkan bahwa faktor kecepatan putaran (A), massa garam (B), dan volume air (C) kesemua tidak mempengaruhi secara signifikan nilai viskositas proses pembuatan sabun cair pencuci piring. Hal tersebut disebabkan oleh penentuan level pengujian tiap faktor yang tidak ekstrim dan kurang jumlah level yang diteliti untuk tiap faktor. Dari hasil setting optimum diperoleh viskositas prediksi eksperimen Taguchi sebesar 9,512 poise. Sedangkan, hasil perhitungan eksperimen konfirmasi didapatkan viskositas sebesar 9,425 poise. Hasil tersebut mempertegas interaksi yang terjadi tidak berpengaruh signifikan sehingga dapat diterapkan kondisi optimal tersebut.

6. Referensi

- Bagchi, Tapan P., (1993), *Taguchi Methods Explained Practical Steps to Robust Design*, New Delhi: Prentice Hall of India Private Limited.
- Gasperz, Vincent, (1998), *Statistical Process Control Manajemen Bisnis Total*, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hutahaean, H.A. & Melissa Stephanie, (2009), “*Pendekatan Metode Response Surface and Metode Taguchi untuk Penentuan Setting Optimal Mesin*”, Prosiding Seminar Nasional Mesin dan Industri V, Jakarta: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara.
- Montgomery, D.C., (1976), *Design and Analysis of Experiments*, New York: John Wiley & Sons Inc..
- Ross, Phillip J., (1998), *Taguchi Technique for Quality Engineering, Loss Function, Orthogonal Experiment, Parameter and Tolerance Design*, New York: McGraw-Hill.
- Soejanto, Irwan, (2009), *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Yogyakarta: Graha Ilmu.