

# MENINGKATKAN MUTU PRODUK PLASTIK DENGAN METODE TAGUCHI

**MOH. HARTONO**

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

E-mail: moh\_hartono@yahoo.com

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan mutu produk plastik dengan metode desain eksperimen Taguchi yang mengkombinasikan komposisi material bijih plastik murni dan plastik daur ulang (jenis PP/Polypropilena) dengan tekanan dan temperatur tertentu agar menghasilkan kekuatan tarik plastik yang lebih baik. Dari hasil eksperimen, diperoleh kombinasi komposisi material 30% plastik daur ulang, tekanan 6,5 atm dan temperatur 180 °C. Dengan komposisi tersebut diperoleh rata-rata kekuatan tarik sebesar 991,667 Newton, dan rasio Signal to Noise (Larger is better) sebesar 59, 9255. Secara statistik, kombinasi tersebut berpengaruh secara signifikan dengan alpha sebesar 0.05 melalui eksperimen Metode Taguchi dengan matrik Orthogonal array  $L_8(2^3)$ .

**Kata kunci:** mutu plastik, desain eksperimen taguchi, kekuatan tarik

## ABSTRACT

Plastic waste is one type of waste that can not be broken down into the organic waste. Utilization of waste plastics to be recycled into plastic with better quality are rarely implemented. This study aims to utilize plastic waste in order to improve the quality of plastic products by Taguchi experimental design method that combines the pure plastic material composition of ore and recycled plastic (type PP/Polypropilena) with a certain pressure and temperature to produce a tensile strength of the plastic the better. From the experimental results, obtained by a combination of material composition of 30% recycled plastic, the pressure of 6.5 atm and a temperature of 180 °C. The composition obtained by the average tensile strength of 991.667 Newton, and Signal to Noise ratio (Larger is better) by 59, 9255. Statistically, the combination was significantly affected by alpha at 0:05 Taguchi method through experiments with a matrix orthogonal array  $L_8(2^3)$ .

**Key words:** quality plastic, Taguchi experimental design, the tensile strength

## PENDAHULUAN

Salah satu metode peningkatan kualitas pada produk plastik adalah dengan perancangan kualitas pada proses *injection moulding*. Sebab proses pencetakan plastik tidak akan bisa diubah atau diperbaiki setelah proses pencetakan selesai. Perencanaan kualitas pada produk plastik harus dilakukan pada awal proses dengan cara mengatur faktor-faktor yang berpengaruh pada proses pencetakan plastik agar menghasilkan produk yang bermutu. Proses tersebut lebih dikenal dengan proses desain produk. Adapun salah satu metode perbaikan mutu pada tahap desain adalah *robust design* yang diperkenalkan oleh Genichi Taguchi.

Box (1985) berpendapat metode Taguchi mempunyai keunggulan sangat efisien, sederhana, mudah dianalisis dan membutuhkan sedikit *running* dalam melakukan eksperimennya. Dalam metodenya, Taguchi membagi faktor yang memengaruhi mutu menjadi dua bagian yaitu faktor terkontrol dan faktor

tidak terkontrol (*noise factors*). Sedangkan tema dasar dari metode *robust design* ini adalah melakukan desain yang kokoh dalam proses dan produk sedemikian sehingga dapat mencegah masuknya faktor tidak terkontrol dalam proses produksi dan mencegah masuknya dampak faktor tidak terkontrol pada konsumen. Metode *robust design* sudah banyak diterapkan industri manufaktur di Jepang, Amerika Serikat, Eropa dan negara industri baru seperti Korea dan Taiwan. *Robust design* ini dapat diterapkan dalam proses dan produk yang baru maupun pada proses dan produk yang sudah ada di mana lebih merupakan pendekatan perencanaan ulang dalam siklus *Plan, Do, Study and Act* (Pujiyanto, 1998). Hal yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi semua faktor yang memengaruhi karakteristik mutu serta mencari level faktor yang sesuai sehingga variansi dapat diminimasi.

Pada level industri, telah disadari bahwa proses *molding* merupakan proses pembentukan yang efektif

dan efisien. Salah satu proses *molding* yang banyak ditemukan adalah proses *injection molding* untuk memproduksi produk dengan bahan baku plastik. Mutu proses dan produk hasil *injection molding* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu bahan baku, mesin, *mold* dan kondisi *molding*. Idealnya faktor-faktor tersebut harus *disetting* pada kondisi optimal supaya produk yang dihasilkan mempunyai mutu yang tinggi. Berdasarkan literatur, faktor kondisi *molding*, misalnya temperatur, tekanan dan kecepatan, mempunyai pengaruh 60% hingga 70% pada mutu proses dan produk *injection molding* (Menges, 1992).

Tujuan dari penelitian adalah mengetahui faktor-faktor pada proses *injection molding* produk plastik yang memengaruhi mutu produk plastik dengan salah satu parameternya kekuatan Tarik. Sedangkan manfaat yang diharapkan bagi Industri dengan penelitian ini adalah meningkatkan mutu produk plastik.

## METODE

Pada penelitian dengan metode Taguchi ini, langkah-langkah ini dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Tiga fase tersebut adalah (1) fase perencanaan, (2) fase pelaksanaan, dan (3) fase analisis. Fase perencanaan merupakan fase yang paling penting dari eksperimen untuk menyediakan informasi yang diharapkan. Fase perencanaan adalah ketika faktor dan levelnya dipilih, dan oleh karena itu, merupakan langkah yang terpenting dalam eksperimen. Fase terpenting kedua adalah fase pelaksanaan, ketika hasil eksperimen telah didapatkan. Jika eksperimen direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, analisis akan lebih mudah dan cenderung untuk dapat menghasilkan informasi yang positif tentang faktor dan level. Fase analisis adalah ketika informasi positif atau negatif berkaitan dengan faktor dan level yang telah dipilih dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya. Fase analisis adalah hal penting terakhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil yang positif.

Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut (Ross, 1996): 1) Perumusan masalah, perumusan masalah harus spesifik dan jelas batasannya dan secara teknis harus dapat dituangkan ke dalam percobaan yang akan dilakukan, 2) Tujuan eksperimen, tujuan yang melandasi percobaan harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang kita amati, 3) Memilih karakteristik kualitas (Variabel Tak Bebas), variabel tak bebas adalah

variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diselidiki, 4) Memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (Variabel Bebas), Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diseleksi pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam seluruh percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan memengaruhi variabel yang diseleksi, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diseleksi. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah *brainstorming*, *flowcharting*, dan *cause effect diagram*,

Langkah-langkah fase perencanaan dilanjutkan dengan 5) Mengidentifikasi faktor terkontrol dan tidak terkontrol, dalam metode Taguchi, faktor-faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor terkontrol (*control factors*) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factors*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan, 6) Penentuan jumlah level dan nilai faktor, pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, 7) Identifikasi interaksi antar faktor kontrol, interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas dibandingkan jika faktor mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan dalam penentuan proses yang optimal, 8) Perhitungan derajat kebebasan (*degrees of freedom/dof*), perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati, 9) Pemilihan *Orthogonal Array* (OA), dalam memilih jenis *Orthogonal Array* harus diperhatikan jumlah level faktor yang diamati yaitu: jika semua faktor adalah dua level: pilih jenis OA untuk level dua faktor, jika semua faktor adalah tiga level: pilih jenis OA untuk level tiga faktor, jika beberapa faktor adalah dua level dan lainnya tiga level: pilih yang mana yang

dominan dan gunakan *dummy treatment*, metode Kombinasi, atau *metode idle column*, jika terdapat campuran dua, tiga, atau empat level faktor: lakukan modifikasi OA dengan metode *merging column*, 10) Penugasan untuk faktor dan interaksinya pada *orthogonal array*, penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun faktor gangguan dan interaksi-interaksinya pada *orthogonal array* terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel *triangular*. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor (kolom-kolom) dalam suatu OA.

Pada fase pelaksanaan dilaksanakan tahapan berikut 11) Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan, persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan. Fase terakhir adalah fase analisis. Tahapan yang dilaksanakan pada fase ini adalah: 12) Analisis Data, pada analisis dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay out* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih, 13) Interpretasi Hasil, interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisis telah dilakukan. Interpretasi yang dilakukan antara lain dengan menghitung persentase kontribusi dan perhitungan selang kepercayaan faktor untuk kondisi perlakuan saat percobaan, 14) Percobaan konfirmasi, percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Tujuan percobaan konfirmasi adalah untuk memverifikasi: 1) dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya, dan 2) *setting* parameter (faktor) yang optimum hasil analisis hasil percobaan pada performansi yang diharapkan (Hartono, 2000).

Penelitian ini menggunakan bahan plastik sebagai obyek penelitian. Bahan plastik yang digunakan menggunakan jenis PP (*Polypropene*) baik dari bijih material PP maupun dari PP hasil daur ulang. Polipropilena atau polipropena (PP) adalah sebuah polimer termo-plastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, di antaranya pengemasan, tekstil (contohnya tali, pakaian dalam termal, dan karpet), alat tulis, berbagai tipe wadah terpakaikan ulang serta bagian plastik, perlengkapan laboratorium, pengeras suara, komponen otomotif, dan uang kertas polimer.

Proses manufaktur plastik terdiri dari: 1) *Injection molding*, bijih plastik (*pellet*) yang dilelehkan oleh sekrup di dalam tabung yang berpemanas diinjeksikan ke dalam cetakan, 2) *Ekstrusi*, bijih plastik (*pellet*) yang dilelehkan oleh sekrup di dalam tabung yang berpemanas secara kontinyu ditekan melalui sebuah *orifice* sehingga menghasilkan penampang yang kontinyu, 3) *Thermoforming*, lembaran plastik yang dipanaskan ditekan ke dalam suatu cetakan, 4) *Blow molding*, Biji plastik (*pellet*) yang dilelehkan oleh sekrup di dalam tabung yang berpemanas secara kontinyu diekstrusi membentuk pipa (*parison*) kemudian ditiup di dalam cetakan (Schey, 2000).

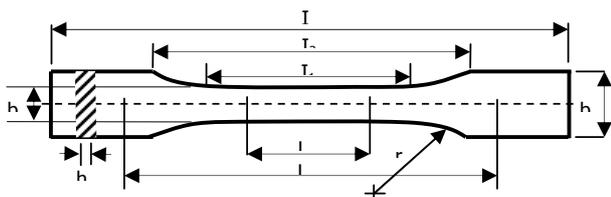
Pelaksanaan pembuatan cetakan atau *mould* dan spesimen plastik dilakukan di bengkel Produksi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Material untuk membuat cetakan *mould* spesimen menggunakan besi ST 37. Pelaksanaan eksperimen dimulai dengan proses *injection molding*, uji bahan dan analisis data dan bahan yang dihasilkan menggunakan ilmu proses manufaktur khususnya plastik dan pengolahan analisis statistik. Data penelitian berupa hasil plastik yang dihasilkan dari tiap proses akan dicatat dan kemudian diolah dengan menggunakan Metode Taguchi. Dalam hal ini digunakan perangkat lunak Minitab versi 14. Metode yang digunakan untuk validasi hasil penelitian adalah dengan menggunakan gambar, kurva, menggunakan analisis sesuai dengan tujuan penelitian dan menyimpulkan hasil penelitian serta memberikan saran atau diskusi untuk penelitian yang perlu dilakukan dimasa yang akan datang.

Pada proses cetak plastik ini, sebelumnya dilakukan uji coba untuk mengetahui hasil awal dan berat bersih tiap spesimen sekaligus mengkondisikan mesin cetak plastik agar sesuai dengan *setting* penelitian yang diharapkan. Hasil uji coba awal ini diperoleh data bahwa berat bersih spesimen adalah 7 gram. Desain Eksperimen yang digunakan pada pengujian ini menggunakan Desain Eksperimen Taguchi untuk dapat menentukan komposisi faktor yang memberikan hasil yang optimal pada kekuatan spesimen plastik. Komposisi faktor terdiri dari kombinasi material, suhu dan tekanan. Material plastik dipilih dari campuran biji plastik murni dan hasil daur ulang dengan komposisi 30%, dan 70%. serta dikombinasikan dengan beberapa tekanan dan temperatur yang berbeda. Penentuan level 30% dan 70% ini didasarkan pada pertimbangan ingin melihat dampak yang nyata dari kedua komposisi tersebut. Setiap kombinasi perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

Oleh sebab itu faktor yang digunakan adalah material plastik daur ulang dengan 2 level (30% dan 70%), temperatur dengan 2 level (170 °C dan 180 °C) dan tekanan dengan 2 level (6,5 atm dan 7,5 atm). Berdasarkan metode taguchi, dari penggunaan 3 faktor eksperimen dan kombinasinya dipilih desain matrik *Orthogonal Array 2 Level L<sub>8</sub>(2<sup>3</sup>)*, di mana 8 menunjukkan banyaknya baris atau ekeperimen, 2 menunjukkan banyaknya level dan 3 menunjukkan banyaknya faktor atau kolom. Data yang telah diperoleh dari hasil uji tarik kemudian diolah dengan bantuan *software* statistik Minitab versi 14. Kemudian pengujian kekuatan tarik plastik dilakukan di Laboratorium Uji Bahan dengan menggunakan Mesin Uji Tarik Tarno Grocki/UPH-100kN.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan panduan Uji Polimer – *Short Therm Mechanical Test*, terdapat 2 jenis specimen untuk PP. Gambar desain *mould* dan *dies* cetak plastik ditunjukkan pada gambar 1. Hasil alat cetak plastik, yaitu *dies* dan *mould*nya dapat dilihat pada gambar 2.



	Type 1A (mm)	Type IB (mm)
$L_3$	$\geq 150$	$\geq 150$
$L_2$	104 - 113	106 - 120
$L_1$	$80 \pm 2$	$60 \pm 0.5$
$b_2$	$20 \pm 0.2$	$20 \pm 0.2$
$b_1$	$10 \pm 0.2$	$10 \pm 0.2$
$h$	$4.0 \pm 0.2$	$4.0 \pm 0.2$
$L_0$	$50.0 \pm 0.5$	$50.0 \pm 0.5$
$L$	$115 \pm 1$	$L_2 + 5$
$r$	20 - 25	$\geq 60$

Gambar 1. Desain Uji Spesimen Tipe IA dan IB

Kemudian dilanjutkan dengan proses pencetakan spesimen Plastik di Laboratorium Uji Bahan. Setelah spesimen plastik dihasilkan, kemudian dilakukan uji tarik terhadap spesimen-spesimen tersebut. Hasil proses uji tarik dapat dilihat pada gambar 3.

Pada Tabel 1, material eksperimen merupakan campuran komposisi plastik daur ulang dan bijih plastik murni untuk jenis yang sama yaitu PP (*Polypropilene*). Material 30% artinya komposisi material spesimen terdiri dari 30% plastik daur ulang dan 70% bijih plastik murni.



Gambar 2. Hasil *Mould* dan *Dies* Cetak Plastik



Gambar 3. Proses Uji Tarik Plastik dan Hasilnya

Tabel 1. Tabel Data Hasil Uji Tarik

Faktor			Hasil Uji Tarik (Newton)		
Material (% daur ulang)	Suhu (°C)	Tekanan (atm)	1	2	3
30	170	7.5	925	950	700
30	170	6.5	950	925	1025
70	180	7.5	975	900	850
70	180	6.5	1025	700	950
30	180	7.5	925	875	850
30	180	6.5	975	1000	1000
70	170	7.5	850	1025	700
70	170	6.5	800	850	825

Penggunaan plastik daur ulang bertujuan untuk memanfaatkan sampah plastik agar tidak terbuang percuma di masyarakat. Sampah plastik tersebut dapat diolah kembali menjadi plastik kembali. Oleh sebab itu ingin dicari komposisi campuran yang ideal antara penggunaan bijih plastik murni dengan sampah plastik daur ulang agar diperoleh efisiensi dan penghematan.

Temperatur yang digunakan adalah 2 level yaitu pada 170 °C dan 180 °C. Menurut Menges (1992), suhu leleh PP adalah sekitar 160 °C. Jadi untuk proses cetak plastik ini digunakan kedua temperatur di

atas. Sedangkan Tekanan menggunakan 2 level yaitu 6,5 dan 7,5 atm. Hasil pengolahan data dengan metode Taguchi seperti pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 4.

**Tabel 2.** Pengolahan Data dengan Metode Taguchi

Komposisi Faktor	Hasil Uji Tarik ( <i>Newton</i> )			Hasil Metode Taguchi			
	1	2	3	SNRA1	LSTD1	STDE1	MEAN1
1	925	950	700	58.4188	4.925	137.689	858.333
2	950	925	1025	59.6811	3.95204	52.042	966.667
3	975	900	850	59.1239	4.14179	62.915	908.333
4	1025	700	950	58.6427	5.13681	170.171	891.667
5	925	875	850	58.9065	3.64252	38.188	883.333
6	975	1000	1000	59.9255	2.66957	14.434	991.667
7	850	1025	700	58.3597	5.09166	162.66	858.333
8	800	850	825	58.3211	3.21888	25	825
Rata-rata				58.9224			897,9166

**Tabel 3.** Model Estimasi dan Anova

**Estimated Model Coefficients for SN ratios**

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	58.9224	0.02490	2366.557	0.000
material 30	0.3106	0.02490	12.474	0.050
temperat 170	-0.2272	0.02490	-9.126	0.069
tekanan 6.5	0.2202	0.02490	8.843	0.072
material*temperat 30 170	0.0442	0.02490	1.775	0.327
material*tekanan 30 6.5	0.3501	0.02490	14.063	0.045
temperat*tekanan 170 6.5	0.0857	0.02490	3.444	0.180

S = 0.07042 R-Sq = 99.8% R-Sq(adj) = 98.7%

**Analysis of Variance for SN ratios**

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
material	1	0.77161	0.771608	0.771608	155.59	0.050*
temperatur	1	0.41304	0.413042	0.413042	83.29	0.069**
tekanan	1	0.38781	0.387815	0.387815	78.20	0.072**
material*temperatur	1	0.01563	0.015630	0.015630	3.15	0.327
material*tekanan	1	0.98072	0.980719	0.980719	197.76	0.045*
temperatur*tekanan	1	0.05881	0.058810	0.058810	11.86	0.180
Residual Error	1	0.00496	0.004959	0.004959		
Total	7	2.63258				

**Estimated Model Coefficients for Means**

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	897.917	2.083	431.000	0.001
material 30	27.083	2.083	13.000	0.049
temperat 170	-20.833	2.083	-10.000	0.063
tekanan 6.5	20.833	2.083	10.000	0.063
material*temperat 30 170	8.333	2.083	4.000	0.156
material*tekanan 30 6.5	33.333	2.083	16.000	0.040
temperat*tekanan 170 6.5	-2.083	2.083	-1.000	0.500

S = 5.893 R-Sq = 99.8% R-Sq(adj) = 98.9%

**Analysis of Variance for Means**

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
material	1	5868.1	5868.06	5868.06	169.00	0.049*
temperatur	1	3472.2	3472.22	3472.22	100.00	0.063**
tekanan	1	3472.2	3472.22	3472.22	100.00	0.063**
material*temperatur	1	555.6	555.56	555.56	16.00	0.156
material*tekanan	1	8888.9	8888.89	8888.89	256.00	0.040*
temperatur*tekanan	1	34.7	34.72	34.72	1.00	0.500
Residual Error	1	34.7	34.72	34.72		
Total	7	22326.	4			

Dari tabel di atas kemudian dihitung Analisis Variansinya (Anova) dengan Minitab 14 sebagai berikut (lihat Tabel 3).

**Tabel 4.** Tabel Respon untuk SNR dan Rata-rata

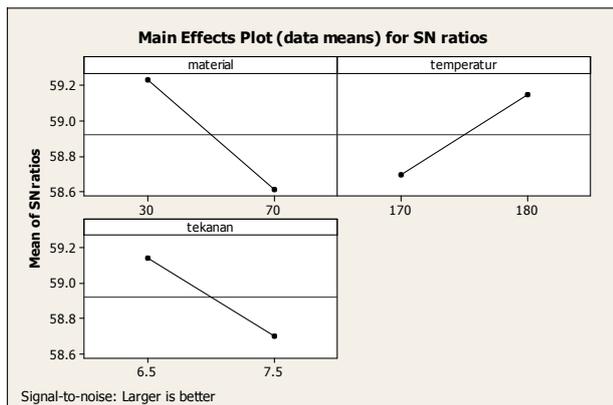
<i>Response Table for Signal to Noise Ratios: Larger is better</i>			
Level	Material	Temperatur	Tekanan
1	59.23	58.70	59.14
2	58.61	59.15	58.70
Delta	0.62	0.45	0.44
Rank	1	2	3

<i>Response Table for Means</i>			
Level	Material	Temperatur	Tekanan
1	925.0	877.1	918.8
2	870.8	918.8	877.1
Delta	54.2	41.7	41.7
Rank	1	2.5	2.5

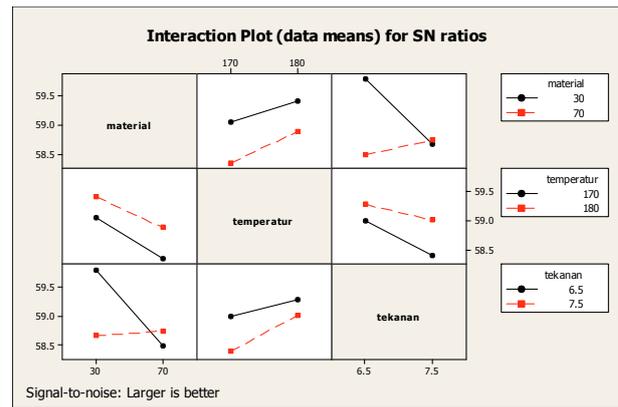
<i>Response Table for Standard Deviations</i>			
Level	Material	Temperatur	Tekanan
1	60.59	94.35	65.41
2	105.19	71.43	100.36
Delta	44.60	22.92	34.95
Rank 1		3	2



**Gambar 4.** Grafik Plot Rasio SN untuk Faktor Utama

Berdasarkan hasil uji taksiran parameter untuk rasio S/N, diketahui bahwa konstanta, material 30% dan interaksi material 30% dan tekanan 6.5 memiliki *p-value* cukup signifikan pada  $\alpha = 0.05$ . Ini berarti bahwa faktor material 30% sendiri dan interaksinya dengan tekanan 6.5 atm memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik plastik. Hasil ini sama dengan hasil dari tabel ANOVA untuk rasio S/N seperti pada Tabel 3.

Dari hasil respon tampak bahwa urutan faktor yang memiliki pengaruh terbesar hingga terkecil terhadap kekuatan tarik plastik yaitu material. Pada tabel respon untuk rasio S/N, temperatur berada pada urutan dua diikuti oleh tekanan, sedangkan pada respon untuk rata-rata, temperatur dan tekanan



**Gambar 5.** Grafik Plot Rasio SN untuk Interaksi Antar Faktor

berada pada tingkat yang sama, sedangkan pada respon untuk standar deviasi.

Hasil di atas didukung oleh tampilan grafik plot pengaruh faktor utama khususnya material terhadap kekuatan tarik plastik. Sebenarnya hasil yang tidak terlalu berbeda ditunjukkan oleh faktor temperatur dan tekanan, akan tetapi dengan  $\alpha = 0,05$ , maka faktor yang paling signifikan adalah material. Demikian pula untuk grafik plot pengaruh interaksi antar faktor, tampak bahwa interaksi antara material dan tekanan menunjukkan efek yang signifikan dengan  $\alpha = 0,05$ . Hal ini tampak dari perubahan yang sangat tajam pada material 30% dan tekanan dari 6,5 atm menuju 7,5 atm untuk nilai rasio S/N dari 59,9 menjadi 58,4. Sedangkan dengan interaksi material 70% (warna merah) dan tekanannya tidak menunjukkan perubahan yang signifikan yaitu hanya naik tipis dari 58,3 menjadi 59,1.

Disamping didukung oleh grafik, hasil ini pula diperkuat oleh besarnya nilai *R-square* sebesar 99,8% dan *R-square adjusted* sebesar 98,7%. Ini artinya model yang dihasilkan dari eksperimen memberikan pengaruh sebesar 99,8% terhadap variasi variabel respon atau terhadap variasi kekuatan tarik plastik.

Berdasarkan pengolahan data, dapat dihasilkan bahwa komposisi material 30%, tekanan 6,5 atm dan temperatur 180 °C memberikan hasil terbaik untuk aspek kekuatan tarik plastik. Ini artinya bahwa dengan komposisi material 30% bahan daur ulang (70% merupakan bijih plastik murni), dikombinasikan dengan tekanan 6,5 atm dan temperatur 180 °C dapat menghasilkan plastik dengan kekuatan tarik yang lebih baik dari komposisi lainnya. Hal ini dapat dilihat dari hasil SNR (*Signal to Noise Ratio*) dengan *Larger is Better* dengan nilai 59,9255. SNR adalah suatu parameter yang ada dalam desain eksperimen Taguchi yang digunakan untuk

mengetahui kombinasi terbaik dari eksperimen yang dilakukan.

Disamping itu dari hasil tabel ANOVA yang diperoleh, faktor material 30% serta interaksinya dengan tekanan sebesar 6,5 juga memberikan pengaruh yang signifikan dalam kekuatan tarik plastik. Ini menunjukkan bahwa plastik daur ulang memberikan pengaruh yang besar dalam sifat fisik plastik tersebut.

Dari hasil percobaan, sebagian besar plastik yang komposisi plastik daur ulangnya 70% dapat menyebabkan sifat plastik menjadi getas dan dapat menurunkan sifat elastis plastik tersebut. Dalam hal ini plastik mengalami degradasi sifat-sifatnya. Karena plastik merupakan suatu polimer, maka sangat tergantung pada ikatan molekul-molekulnya. Biji plastik murni masih mempunyai ikatan yang sangat kuat antar molekulnya sehingga menyebabkan adanya sifat elastis pada plastik tersebut. Sifat elastis tersebut berpengaruh pada kekuatan tarik plastik yang lebih baik dari pada dikombinasikan dengan plastik daur ulang.

Plastik daur ulang yang ada di sekitar kita telah mengalami berbagai proses fisika dan kimiawi sehingga dapat menyebabkan degradasi atau penurunan sifat plastiknya. Salah satunya adalah menurunnya sifat elastik dari plastik tersebut karena plastik menjadi lebih getas dan mudah patah bila dilakukan uji tarik. Dampak fisik lain dari plastik daur ulang adalah hasil cetak plastik menjadi tidak bersih, karena plastik daur ulang tercampur dengan material lain sehingga menyebabkan warnanya tidak putih, tapi menjadi lebih kotor dan berwarna gelap. Perbandingan antara plastik dengan material 30% dan 70%.



**Gambar 6.** Perbandingan Plastik Material 70% dan 30%

Pada gambar 6, plastik 30% daur ulang terlihat lebih elastis, hal ini tampak dari bekas potongan dari hasil Uji tariknya. Tampak pula warnanya lebih putih bila dibandingkan dengan potongan plastik di bawahnya yang terdiri dari material 70% daur ulang. Bekas potongannya lebih tampak patahannya dan sangat sedikit sifat elastisnya. Ini menunjukkan bahwa plastik daur ulang memang berdampak pada menurunnya sifat elastisitas dari plastik itu sendiri. Menurunnya sifat elastisitas ini sebagai indikator atas berkurangnya ikatan antar molekul polimer pembentuk plastik yang dalam eksperimen ini menggunakan bahan *Polypropilene* (PP). Sehingga ikatan antar molekul antara plastik PP hasil daur ulang dengan biji plastik PP yang masih murni tidak begitu kuat, walaupun telah dipanaskan pada suhu 170–180 °C.

Persenyawaan antara plastik yang berasal dari biji plastik murni dengan plastik daur ulang dengan jenis yang sama (PP) tidak begitu kuat dan menyatu ikatan antar molekulnya sehingga menyebabkan kekuatan plastik khususnya daya kekuatan tarik menjadi lebih rendah. Disamping kekuatan tarik menjadi lebih rendah juga menurunkan sifat elastisitasnya, plastik menjadi lebih getas dan mudah patah.

Pada interaksi antara material dan tekanan, juga diperoleh hasil yang cukup signifikan dengan  $P = 0,040$  dan  $\alpha = 0,05$ . Dengan kombinasi perlakuan material 30% dan tekanan 6,5 atm, diperoleh nilai rata-rata kekuatan tarik yang lebih besar. Sebenarnya kombinasi antara material dan tekanan ini tidak bisa dipisahkan dari temperatur. Pengaruh temperatur sebenarnya juga signifikan dengan nilai  $P = 0,063$  dan  $\alpha = 0,10$ . Dengan titik leleh plastik PP berkisar 160 °C, maka kombinasi material 30% (daur ulang), tekanan 6,5 atm dan temperatur 180 °C, diperoleh hasil spesimen plastik yang mempunyai kekuatan tarik lebih besar, hal ini karena pada temperatur tersebut, kondisi material PP sudah dalam kondisi sangat leleh menjadi cairan kental sehingga dengan tekanan sebesar 6,5 atm saja sudah dapat membuat spesimen sesuai dimensi yang diinginkan. Apabila tekanannya ditambahkan maka dapat mengakibatkan terjadi proses penyusutan plastik setelah proses *injection molding* yang sangat besar karena sebelumnya menerima tekanan yang lebih besar. Akibat dari penyusutan tersebut, maka dimensi spesimen menjadi tidak sebagaimana mestinya (terdapat lekukan dan cekungan akibat penyusutan).

Dari percobaan pendahuluan yang telah dilakukan, bila tekanan semakin diperbesar maka cenderung menghasilkan spesimen yang cacat, demikian pula bila temperatur semakin ditingkatkan melebihi 180 °C atau diturunkan di bawah 170 °C akan menghasilkan produk spesimen yang cacat. Cacat yang timbul adalah adanya gelembung udara di dalam hasil cetakan serta terjadinya penyusutan yang berlebihan sehingga memengaruhi bentuk dimensi spesimen itu sendiri yang tidak sesuai dengan desain yang direncanakan. Oleh sebab itu penetapan temperatur 170 °C dan 180 °C serta tekanan 6,5 atm dan 7,5 atm menjadi faktor dalam eksperimen ini telah melalui percobaan pendahuluan.

Oleh sebab itu melalui percobaan ini yaitu meningkatkan mutu plastik dengan Metode Taguchi diperoleh hasil kombinasi faktor yang menghasilkan rasio S/N terbesar yaitu material 30% daur ulang, tekanan 6,5 atm dan temperatur 180 °C dengan nilai 59,9255.

## SIMPULAN

Untuk meningkatkan mutu produk plastik dapat diperoleh dengan mengkombinasikan plastik hasil daur ulang dan bijih plastik murni, tekanan dan temperatur yang sesuai. Dengan desain Eksperimen Taguchi, diperoleh komposisi terbaik untuk campuran material guna mendapatkan mutu terbaik adalah terdiri dari bijih plastik murni sebanyak 70% dan plastik hasil daur ulang sebanyak 30% dari volume produk yang dihasilkan. Dengan penggunaan plastik daur ulang maka bisa melakukan efisiensi biaya bahan baku material plastik karena plastik daur ulang mudah diperoleh dan harganya sangat murah. Disamping itu pada proses cetak plastik, penentuan tekanan dan temperatur yang tepat juga dapat meningkatkan mutu plastik. Dari hasil Uji tarik diperoleh kombinasi perlakuan material 30% daur ulang, temperatur 180 °C dan tekanan 6,5 atm menghasilkan kekuatan tarik rata-rata nilai rasio S/N (*larger is better*) sebesar 59, 9255.

## DAFTAR PUSTAKA

Besterfield, D.H., 2004. Quality Control, 7th. Ed., New Jersey, Pearson Prentice Hall.

- Box, G.E.P. and Meyer, R.D., 1986. Dispersion Effects From Fractional Design. *Technometrics*, 28, 19–27.
- Gunawan, Hariyanto and Anggono, W., 2006. Improving Quality Of Injection Mold Using Moldflow Software Simulation. Case Study: New Design Plastic Cup Proceeding Of International Seminar On Product Design And Development 2006, Yogyakarta-Indonesia.
- Hartono, M., 2000. Perancangan Kualitas dengan Metode Taguchi, *Jurnal Bistek Politeknik Unibraw*, 8(12).
- Hartono, M. dan Irianto, D., 2000. Pengembangan Response Surface Methodology pada Karakteristik Dinamis untuk Meningkatkan Kualitas Produk, *Jurnal Teknik dan Manajemen Industri ITB*, 2(2).
- Hartono, M., 2000. Perancangan Kualitas Dengan Response Surface Methodology ntuk Karakteristik Dinamis, Tesis S2, Institut Teknologi Bandung.
- Hartono, M., 2001. Quality by Design dengan Metode Taguchi, Konsep dan Perkembangannya, *Jurnal Industri Universitas Muhammadiyah Malang*, 2(2).
- Kleinschmidt, R., 2000. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 157, 83–90.
- Kyung-Jun C., 1998. *Eur. Polym. Journal*, 34(3/4): 577–580.
- Menges, G, 1992. *How to Make Injection Molds*, Hanser Publisher, Munich.
- Mercandelli, P., 2007. Plastic additives leach into medical experiments, research shows, *Journal of Organometallic Chemistry*, 692; 4784–4791.
- Pujiyanto, E., 1998. Melibatkan Faktor Tidak Terkontrol terukur pada Metode Pledger dalam Upaya Meningkatkan Kulit Produk, sebagai Alternatif Metode Taguchi, Tesis, Program Magister Teknik Dan Manajemen Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Ratna D.T., 2005. Perencanaan Perbaikan Mutu Dengan Analisis Statistical Process Control, Proceeding Makalah seminar Nasional, ISBN: 979-96964-2-9.
- Richardson, T.L. and Lokensgard, E., 1997. *Industrial Plastics: Theory and Application*, third edition, Delmar Publisher Inc-ed, Washington.
- Ross, P.J., 1989. *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Schey, John A., 2000. *Introduction to Manufacturing Processes*, Ed.1, McGraw-Hill Companies, Inc. Ontario.
- Song, 2004. *Macromol. Symp.* 213, 173–185.