

# Optimization of the $L_{36}$ mixed-level controllable factors of Taguchi parameter design on the plastic injection molding process for minimizing defects

Moh. Hartono<sup>1,\*</sup>, Pratikto<sup>2</sup>, Purnomo B. Santoso<sup>2</sup>, Sugiono<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Student of Mechanical Engineering, Doctoral Program of Brawijaya University,  
Jl. MT Haryono 167, Malang 65145

<sup>2</sup>Lecturer of Mechanical Engineering, Polytechnic State of Malang  
Jl. Soekarno Hatta No. 9 Malang, 65144

<sup>2</sup>Lecturer of Industrial Engineering, Technic Faculty of Brawijaya University,  
Jl. MT Haryono 167, Malang 65145

\* Email : *moh.hartono@polinema.ac.id*

**Abstract** - Plastic Injection Molding (PIM) process is an important process in manufacturing to produce plastic products. PIM process is influenced by a variety of parameters that affect the quality characteristics of plastic products. In this paper, we study the characteristics of the controllable parameter in the design of PIM process that are combination of injection temperature, injection pressure, injection speed, mold pressure (clamping force) and holding time simultaneously to produce quality products with a minimize defects. The activity is a part of process in the designing quality products that is a step off-line quality control. The method is the Taguchi parameter design using  $L_{36}$  mixed-level with five factors and level variations. The results is a optimum combination of controllable factor level with 255°C injection temperature, 66 bar injection pressure, 55 bar clamping force, 95 m/s injection speed and 5 seconds holding time to produce products with minimal defect percentage (0%). The benefits of the results is that it can reveal how the behavior and characteristics of the determining factors in the PIM process and its combinations that can minimize the defect of product.

**Keywords** :  $L_{36}$  mixed-level, Taguchi parameters design, PIM process and minimize defect.

## 1. Pendahuluan

Salah satu dampak dari era industrialisasi adalah digunakannya produk plastik. Kelebihan produk plastik adalah sifatnya yang ringan dan kuat serta tahan terhadap korosi, dapat bersifat transparan, bisa diwarnai, tidak mengalami pembusukan dan terpenting adalah dapat berfungsi sebagai isolator sehingga dapat menggantikan produk kayu dan logam yang telah bertahun-tahun digunakan[1]. Data BPS tahun 2014 menunjukkan bahwa pertumbuhan produksi industri besar dan sedang naik sebesar 6.52% dibanding tahun 2013. Kenaikan tersebut terutama disebabkan naiknya produksi industri kendaraan bermotor, trailer dan semi trailer naik 10,48%, industri barang logam, bukan mesin dan peralatannya naik 9,12%, industri makanan naik 12,84% dan industri karet dan plastik naik 5,12% dan kenaikan dari bidang industri lainnya. Industri produk plastik di Indonesia, khususnya produk barang plastik, elektronika dan peralatan listrik telah berkembang dengan pesat pada kurun waktu lima tahun terakhir.[2]

Pencemaran lingkungan merupakan dampak khas dari permasalahan industri plastik, karena plastik merupakan jenis sampah yang sulit diuraikan menjadi sampah organik. Disamping menimbulkan pencemaran secara fisik, beberapa bahan plastik tertentu juga menyebabkan pencemaran kimiawi. Secara fisik, sampah plastik bisa menyumbat saluran air, mengotori lingkungan, mengakibatkan pendangkalan sungai dan mengganggu struktur tanah. Sampah plastik yang terkumpul dalam tanah akan membentuk lapisan kedap air, sehingga mengganggu masuknya air ke dalam tanah. Gangguan masuknya air ke dalam tanah bisa mengakibatkan banjir di musim hujan. Sementara jika lapisan sampah plastik berada dibawah tanah yang ditumbuhi tanaman akan menyebabkan tanaman tersebut kesulitan untuk mendapatkan air sehingga pertumbuhannya terganggu. Pencemaran plastik secara kimiawi akan terjadi bila ada pembakaran sampah plastik. Bahan plastik yang mengandung

klorin, misalnya *polivinilchlorida* (PVC) jika dibakar akan mengeluarkan asap pedas yang mengandung bahan-bahan organoklorin yang membahayakan kesehatan, seperti gas *hydrogen chlorida* (HCl) dan dioksin. Gas HCl bila terhisap paru-paru bersama butir-butir air yang ada di udara akan menghasilkan asam klorida cair yang sangat korosif. HCl juga bisa bereaksi dengan bahan-bahan campuran dalam PVC yang ikut terurai ketika dibakar. Konsumsi berlebih terhadap plastik, pun mengakibatkan jumlah sampah plastik yang besar. Karena bukan berasal dari senyawa biologis, plastik memiliki sifat sulit terdegradasi (*non-biodegradable*). Plastik diperkirakan membutuhkan waktu 100 hingga 500 tahun hingga dapat terdekomposisi (terurai) dengan sempurna. Sampah kantong plastik dapat mencemari tanah, air, laut, bahkan udara. Dari kondisi tersebut pemerintah mulai menggalakkan berbagai aturan dan kebijakan yang berbasis ramah lingkungan. [3]

Untuk mengurangi semakin menumpuknya sampah plastik yang tidak bisa diuraikan menjadi sampah organik, maka satu-satunya cara adalah melakukan proses daur ulang sampah plastik menjadi plastik kembali. Akan tetapi proses tersebut biasanya menghasilkan plastik dengan kualitas yang lebih rendah, hal ini karena tidak diadakan proses pemilahan sampah plastik berdasarkan jenis plastiknya. Permasalahan yang sering timbul pada bidang industri manufaktur plastik adalah belum adanya sistem yang tepat untuk dapat merancang setting parameter pada proses cetak plastik secara tepat yang dapat meminimasi cacat dan limbah. Akan tetapi kelebihanannya adalah dapat di daur ulang untuk diproses kembali menjadi produk plastik yang lain.

Untuk itu perusahaan plastik harus dapat meningkatkan efektivitas, efisiensi, produktivitas dan kualitasnya dengan cara menghasilkan produk yang sesuai dengan keinginan pelanggan dengan kualitas tinggi, tingkat keakuratan dan kepresisian yang juga tinggi, biaya rendah, *lead time* yang pendek serta tidak adanya pemborosan (*waste*). Beberapa faktor yang mempengaruhi mutu proses cetak plastik antara lain temperatur nozzle, tekanan nozzle, waktu penahan, dan jenis material yang digunakan. Cacat yang timbul dari produk plastik yang dihasilkan sering disebabkan oleh setting parameter proses cetak plastik dan kualitas cetakan yang buruk. Berdasarkan literatur, faktor kondisi molding, misalnya temperatur, tekanan dan kecepatan, mempunyai pengaruh 60% hingga 70% pada mutu proses dan produk *injection molding* [4].

Pada awalnya metode pengendalian kualitas dilakukan dengan *quality control* yang dilaksanakan setelah produk selesai dibuat. Kemudian metode tersebut diperbaiki dengan melakukan inspeksi saat proses produksi sedang berlangsung[5]. Hingga akhirnya metode *quality control* disempurnakan lagi menjadi metode perancangan kualitas (*quality by design*) yang merupakan *off-line quality control* dan dilaksanakan saat produk belum dibuat karena masih berupa prototype[6]. Pelopor metode ini adalah Genichi Taguchi, seorang ahli kualitas dari Jepang yang juga merupakan insinyur di bidang Kimia. Metode Taguchi banyak dijadikan referensi dalam bidang Desain Eksperimen sebelum disempurnakan oleh Myers yang memperkenalkan Metode Permukaan Respon (*Response Surface Methodology*).[7]. Metode perancangan kualitas juga telah berkembang seiring dengan perkembangan teknologi informasi misalnya dengan menggunakan pendekatan *Artificial Intelligence*. [8]. Sehingga metode perancangan kualitas saat ini tidak hanya digunakan untuk mengontrol kualitas produk yang akan dihasilkan melainkan juga dapat digunakan untuk memprediksi kualitas produk yang diinginkan dengan proses optimisasi.[8]

Dari uraian diatas, maka permasalahan pada proses produksi plastik adalah bagaimana merancang kualitas produk berupa setting parameter yang memberikan respon optimal sehingga menghasilkan produk yang robust dan dapat meminimasi limbah. Tertarik pada metode Taguchi, maka melalui penelitian pada proses produksi *injection molding* hendak diketahui kontribusi kedua metode dalam upaya meningkatkan mutu khususnya pada produk plastik.

## 2. Metodologi Penelitian

Pada penelitian dengan metode Taguchi, 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.[8]. 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. 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. Teknik pengambilan data dilakukan di Bengkel Produksi Jurusan teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.

Pelaksanaan eksperimen dimulai dengan pembuatan cetakan (*mold*), setting faktor-faktor terkontrol proses cetak plastik (*injection molding*), pemeriksaan kecacatan hasil, Metode yang digunakan untuk validasi hasil penelitian adalah dengan menggunakan alat kaca pembesar untuk melihat cacat yang tidak bisa diamati dengan panca indra, penggunaan 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.[7].

Desain Eksperimen yang digunakan pada pengujian ini menggunakan Desain Eksperimen Taguchi dengan level faktor terkontrol yang berbeda (*mixed-level*) sebanyak 36 run percobaan pada proses cetak plastik. Komposisi faktor terdiri dari tekanan injeksi, kecepatan injeksi, clamping force, waktu penahan, dan temperatur injeksi. Faktor terkontrol tekanan injeksi menggunakan 2 level yaitu 66 atm dan 115 atm. Kecepatan ineksi pada level 95 m/det dan 99 m/det, clamping force pada level 55 m/det<sup>2</sup> dan 75 m/det<sup>2</sup>, waktu penahan pada level 5 det dan 8 det sedangkan temperatur injeksi dengan 3 level yaitu 230°C, 255°C dan 275°C. Pemilihan level tersebut didasarkan pada batas bawah dan batas atas tekanan injeksi. Dari masukan oleh pakar injection molding dan literatur serta hasil percobaan pendahuluan (*pre-experiment*).[9][10]. Pelaksanaan eksperimen diulang sebanyak 10 kali pada setiap kombinasi faktor terkontrol. Karena terdapat sebanyak 36 kombinasi eksperimen maka desain Tagiuchi yang digunakan adalah L<sub>36</sub> mixed level controllable factor. Hasil yang dicatat adalah pengamatan terhadap setiap produk baik dengan panca indra maupun dengan alat kaca pembesar untuk mengetahui adanya kecacatan pada produk.

### 3. Hasil Dan Pembahasan

Data hasil percobaan sebagai berikut:

Tabel 1. DATA PERCOBAAN

NO.	TEKANAN INJEKSI	KECEPATAN INJEKSI	CLAMPING FORCE	WAKTU PENAHAN	TEMPERATUR INJEKSI	PELUANG PRODUK CACAT
1	66	95	55	5	230	1
2	66	95	55	5	255	0.2
3	66	95	55	5	275	0
4	66	95	55	5	230	1
5	66	95	55	5	255	0.1
6	66	95	55	5	275	0
7	66	95	75	8	230	1
8	66	95	75	8	255	0.2
9	66	95	75	8	275	0
10	66	99	55	8	230	0.7
11	66	99	55	8	255	0
12	66	99	55	8	275	0.1
13	66	99	75	5	230	0.8
14	66	99	75	5	255	0
15	66	99	75	5	275	0.1
16	66	99	75	8	230	0.8
17	66	99	75	8	255	0
18	66	99	75	8	275	0
19	115	95	75	8	230	0.3
20	115	95	75	8	255	0.3
21	115	95	75	8	275	1
22	115	95	75	5	230	0.4
23	115	95	75	5	255	0.3
24	115	95	75	5	275	0.9
25	115	95	55	8	230	1
26	115	95	55	8	255	0.3
27	115	95	55	8	275	1
28	115	99	75	5	230	0.2

29	115	99	75	5	255	0.1
30	115	99	75	5	275	1
31	115	99	55	8	230	0.4
32	115	99	55	8	255	0
33	115	99	55	8	275	1
34	115	99	55	5	230	0.8
35	115	99	55	5	255	0
36	115	99	55	5	275	1

Data mengenai ulangan percobaan sengaja tidak ditampilkan karena keterbatasan tulisan. Proporsi cacat dihitung dengan membandingkan jumlah produk yang cacat setiap 10 ulangan yang dilakukan. Untuk jenis cacat yang timbul antara lain berupa adanya gelembung, dimensi yang tidak sesuai, adanya lubang, dan cacat kecil lainnya. Produk yang dihasilkan berupa pot bunga dengan dimensi diameter bawah 130 mm, diameter atas 200 mm dan tinggi 140 mm.



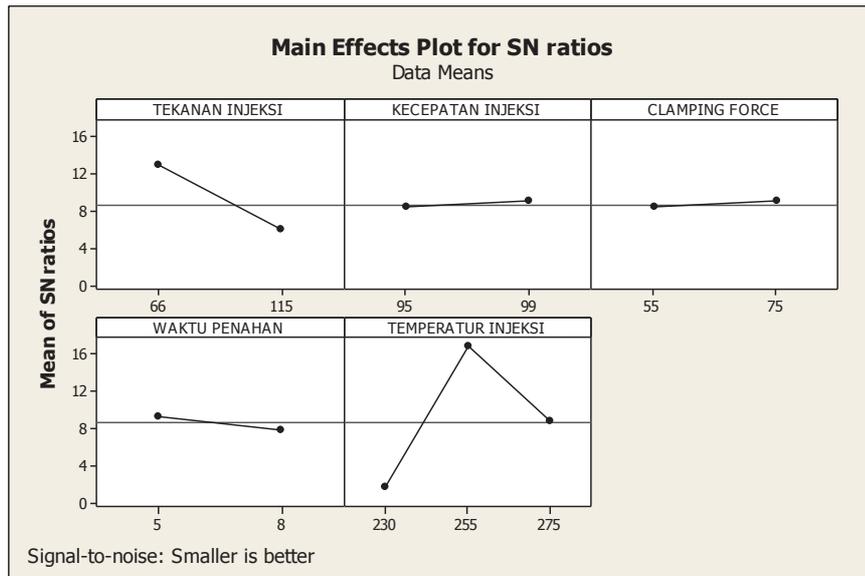
Gambar 1. Produk cacat dan setting panel faktor terkontrol

#### 4. Analisis Data dan pembahasan

Pengolahan data menggunakan program aplikasi statistik Minitab versi 14. Dari hasil pengolahan data tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

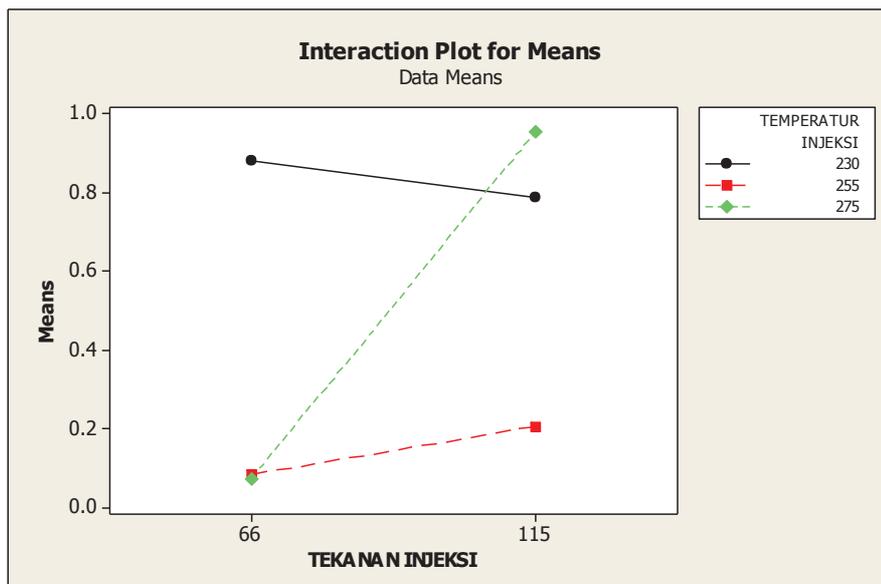
**Tabel 2. Analysis of Variance for SN ratios**

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
TEKANAN INJEKSI	1	113.64	127.151	127.151	3184.09	0.000
KECEPATAN INJEKSI	1	1.14	31.971	31.971	800.60	0.001
CLAMPING FORCE	1	3.04	15.647	15.647	391.83	0.003
WAKTU PENAHAN	1	46.85	7.023	7.023	175.87	0.006
TEMPERATUR INJEKSI	2	728.76	90.723	45.362	1135.93	0.001
TEKANAN INJEKSI*KECEPATAN INJEKSI	1	52.12	5.256	5.256	131.62	0.008
TEKANAN INJEKSI*CLAMPING FORCE	1	1.76	8.617	8.617	215.79	0.005
TEKANAN INJEKSI*WAKTU PENAHAN	1	5.64	3.076	3.076	77.03	0.013
TEKANAN INJEKSI*TEMPERATUR INJEKSI	2	426.98	276.355	138.177	3460.20	0.000
KECEPATAN INJEKSI*CLAMPING FORCE	1	1.40	0.304	0.304	7.60	0.110
KECEPATAN INJEKSI*WAKTU PENAHAN	1	0.18	0.020	0.020	0.51	0.549
KECEPATAN INJEKSI*TEMPERATUR INJEKSI	2	70.33	28.532	14.266	357.25	0.003
CLAMPING FORCE*WAKTU PENAHAN	1	5.33	1.943	1.943	48.65	0.020
CLAMPING FORCE*TEMPERATUR INJEKSI	2	4.36	4.131	2.065	51.72	0.019
WAKTU PENAHAN*TEMPERATUR INJEKSI	2	4.76	4.763	2.382	59.64	0.016
Residual Error	2	0.08	0.080	0.040		
Total	22	1466.38				



Gambar 2. Plot main efek faktor terkontrol terhadap SNR

Dari hasil tabel ANOVA dan plot grafik main efek dan interaksinya (gambar 3 dan gambar 4) untuk rasio S/N, diperoleh hasil bahwa semua faktor baik tekanan injeksi, kecepatan injeksi, clamping force, waktu penahan dan temperatur injeksi berpengaruh signifikan terhadap minimasi produk cacat kecuali pada interaksi antara kecepatan injeksi dan clamping force serta interaksi antara kecepatan injeksi dan waktu penahan. Dengan  $\alpha = 5\%$ , semua faktor terkontrol dan kombinasinya berpengaruh signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan level desain eksperimen sudah tepat. Bila dilihat efek tiap faktor tampak bahwa pada tekanan injeksi S/N ratio lebih tinggi pada level 66 atm. Begitu pula pada temperatur injeksi pada suhu 255 C memberikan hasil lebih tinggi rasio S/N daripada suhu pada level lainnya. Untuk kecepatan injeksi, clamping force dan waktu penahan relatif stabil pada level yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan yang ditimbulkan oleh kedua level pada ketiga faktor diatas pada tingkat yang stabil dan tepat untuk dapat meminimasi cacat produk.



Gambar 3. Plot interaksi antar faktor terkontrol terhadap rata-rata proporsi cacat produk

## 5. Kesimpulan

Untuk meningkatkan mutu produk plastik dan sekaligus dapat meminimasi limbah plastik pada proses cetak plastik dapat digunakan metode Taguchi dengan melakukan optimasi level faktor terkontrol pada baik tekanan injeksi, kecepatan injeksi, clamping force, waktu penahan dan temperatur injeksi. Kombinasi optimal faktor terkontrol terletak pada tekanan injeksi 66 atm, kecepatan inkesi 99 m/s, clamping force 75 m/s<sup>2</sup>, waktu penahan 5 s dan temperatur injeksi 255 C.

Penelitian ini masih bisa dilanjutkan dan dikembangkan lagi untuk memperoleh kajian yang lebih mendalam misalnya dengan memperbanyak kombinasi factor terkontrol antara lain variasi material, tekanan dan temperatur serta mempelajari aspek tegangan dan regangan uji tarik plastik tersebut.

## 6. Daftar Referensi

- [1] Schey, John A., Introduction to Manufacturing Processes, Ed.1, McGraw-Hill Companies, Inc. Ontario, 2000.
- [2] Biro Pusat Statistik, laporan tahunan tahun 2010-2014, Jakarta, 2015
- [3] Kementerian Lingkungan Hidup, Laporan Tahunan Environmental Performance Index (EPI), tahun 2013
- [4] Menges, Georg, Paul *Mohren*, 1992, "How to Make Injection Molds", Hanser Publisher, Munich.
- [5] Besterfield, Dale H., 2004, Quality Control, 7th. Ed., New Jersey, Pearson Prentice Hall,
- [6] Belavendram, Nicolo, 1995, Quality by Design (Taguchi Techniques for Industrial Experimentation), ed.1, Prentice Hall, Singapore
- [7] Hartono, Moh., Meningkatkan mutu produk plastik dengan Metode Taguchi, Vol. 13, No. 1 tahun 2012, Jurnal Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Malang.
- [8] Montgomery D.C., Design and Analysys of Experiments, 6<sup>th</sup> Edition, Wiley International, , John Wiley & Sons, Arizona, USA,2005.
- [9] Mercandelli, P. et al. *Journal of Organometallic Chemistry* 692 (2007) 4784–4791.
- [10] Song et al. *Macromol. Symp.* 2004, 213, 173-185