

OPTIMASI PENGATURAN PARAMETER MESIN INJEKSI PLASTIK PADA PEMBUATAN *ACID CONTAINER* DENGAN METODE TAGUCHI

¹Dodi Mulyadi, ²Jhody Ispriyantoro

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer,
Universitas Buana Perjuangan Karawang^{1,2}
dodi.mulyadi@ubpkarawang.ac.id¹

ABSTRAK

Metode Taguchi adalah suatu metode statistik yang banyak digunakan di industri manufaktur, yang salah satunya tujuannya adalah untuk menurunkan jumlah produk cacat. Penelitian ini dilakukan pada industri manufaktur yang bergerak dalam injeksi plastik yang memproduksi *acid container* yang menggunakan polipropilena (PP) sebagai materialnya. Data-data dari proses produksi menunjukkan bahwa proses injeksi plastik menghasilkan barang cacat mencapai 10%. Upaya perbaikan proses, yakni dengan cara memperbaiki parameter mesin injeksi telah dilakukan dengan metode Taguchi. Faktor-faktor eksperimen terdiri dari tujuh faktor dengan tiga level, menghasilkan kombinasi kecepatan injeksi 255 rpm, temperature melting 240 °C, tekanan injeksi 85 MPa, tekanan holding 41 MPa, waktu holding 8 s, waktu pendinginan 11 s, dan temperatur pendinginan 13 °C. Hasilnya menunjukkan bahwa perusahaan dapat menekan rasio produk cacat hingga mencapai 78% dari kondisi produk cacat sebelumnya, atau jumlah produk cacat dapat dikurangi hingga menjadi maksimal 2,5%.

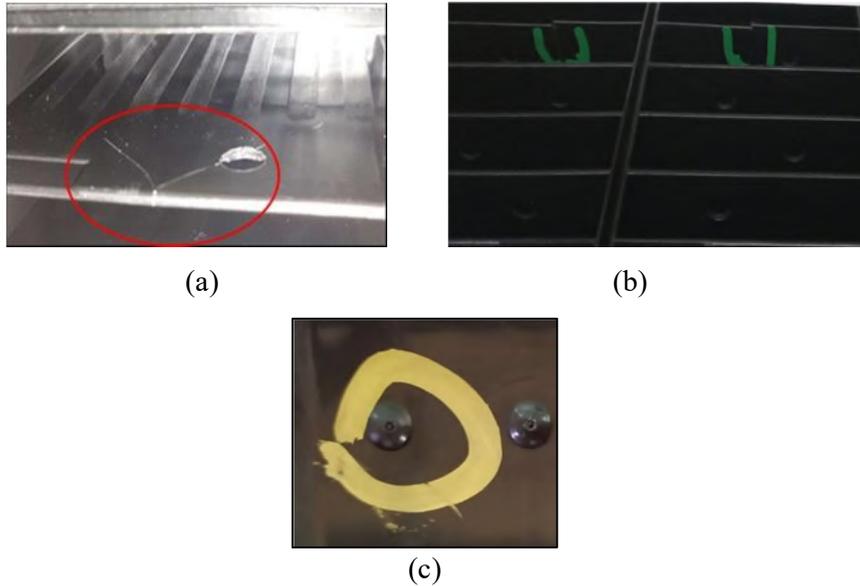
Kata kunci: Optimasi, Injeksi Plastik, Taguchi

PENDAHULUAN

Acid container pada penelitian ini adalah suatu wadah yang berfungsi untuk menyimpan cairan kimia, terdiri dari 6 sel, dibuat dengan menggunakan material polypropylene (PP) dan dengan cara injeksi plastik. *Container* memiliki ukuran panjang 110 mm, lebar 70 mm, tinggi 72 mm, ketebalan dinding luar sebesar 2 mm, dan dinding bagian tengah (dinding sekat antara sel) mempunyai ketebalan masing-masing 1,5 mm.

Pada proses produksinya, perusahaan mengalami cacat produk mencapai 10%, yakni cacat karena *container* bolong pada area *gate* material dan dinding *container* pecah pada area *weld-line*. Bocor pada *gate* berada di bagian bawah *container* dimana *gate* berada. Sedangkan dinding yang pecah ditemukan pada dinding sekat antara sel saja, adapun pada dinding terluar tidak ditemukan adanya dinding yang pecah.

Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut, perusahaan perlu melakukan percobaan perbaikan pada pengaturan parameter mesin injeksi. Proses perbaikan akan mengkombinasikan beberapa parameter, yaitu temperatur *barrel*, waktu injeksi, tekanan injeksi, dan kecepatan injeksi.



Gambar 1. Kondisi *weld line* (a), pecah pada *container* (b), dan bolong di area *gate* (c).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian akan menggunakan analisis metode Taguchi yakni suatu metode statistik yang diperkenalkan oleh Genichi Taguchi yang pada awalnya bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk manufaktur. Akan tetapi dewasa ini metode Taguchi juga dapat diimplementasikan untuk berbagai disiplin ilmu engineering lainnya, bioteknologi dan bahkan untuk bidang marketing.

Karakteristik kualitas adalah hasil suatu proses yang berkaitan dengan kualitas. Karakteristik kualitas yang terukur menurut Taguchi dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu *nominal is the best*, *smaller the better*, dan *larger the better*.

Nominal is the best adalah kondisi karakteristik kualitas yang menuju suatu nilai target yang tepat pada suatu nilai tertentu. Yang termasuk kategori ini adalah berat, panjang, lebar, kerapatan, ketebalan, diameter, luas, kecepatan, volume, jarak, tekanan, dan waktu.

Smaller the better adalah kondisi karakteristik kualitas dimana apabila semakin kecil (mendekati nol; nol adalah nilai ideal dalam hal ini) semakin baik. Contoh yang termasuk kategori ini adalah pemborosan panas, persen kontaminasi, hambatan, penyimpangan, kebisingan, produk gagal, waktu respon, dan kerusakan.

Larger the better adalah kondisi karakteristik kualitas dimana semakin besar nilainya maka semakin baik kualitas produk tersebut (tak terhingga sebagai nilai idealnya). Contoh dari karakteristik ini adalah kekuatan tarik, efisiensi, waktu antar kerusakan, dan ketahanan terhadap korosi.

Penentuan Parameter Mesin Injeksi dan Pemilihan Orthogonal Array

Percobaan akan dilakukan pada mesin injeksi plastik berkapasitas 320 ton jenis elektrik, dengan menggunakan material polipropilena (PP) sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Adapun jumlah parameter mesin yang akan diujikan terdiri dari tujuh faktor, yaitu kecepatan injeksi, temperature *melting*, tekanan injeksi, tekanan holding, waktu holding, waktu pendinginan, dan temperatur pendinginan. Masing-masing dari tujuh faktor tersebut akan dibuat tiga level percobaan, kecuali untuk kecepatan injeksi terdiri dari dua level.

Pemilihan *orthogonal array* yang sesuai akan tergantung kepada derajat kebebasan total dari parameter. Dalam penelitian ini, karena setiap parameter mempunyai tiga level kecuali untuk kecepatan injeksi terdiri dari dua level, maka dalam penelitian ini dipilih *orthogonal array* $L_{18} (2^1 \times 6^3)$ dengan tujuh kolom dan delapan belas baris. Tata letak *orthogonal array* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Parameter Mesin Injeksi dan Level-levelnya

Faktor	Parameter	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	Kecepatan Injeksi	rpm	250	255	-
B	Temperatur melting	$^{\circ}\text{C}$	220	230	240
C	Tekanan Injeksi	MPa	75	80	85
D	Tekanan Holding	MPa	35	38	41
E	Waktu Holding	detik	5	8	11
F	Waktu Pendinginan	detik	5	8	11
G	Temperatur Pendinginan	$^{\circ}\text{C}$	7	10	13

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan merupakan jenis penelitian eksperimen yang termasuk jenis penelitian kuantitatif. Jenis penelitian ini digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap variabel tertentu dalam kondisi yang terkendali. Dalam hal ini, variabel bebas adalah parameter mesin injeksi dengan berbagai levelnya. Adapun variabel yang akan dipengaruhinya adalah kualitas *container acid*, dimana yang diharapkan adalah tidak terjadi bocor pada *gate* dan tidak terjadi retak pada dinding-dinding penyekat *acid*.

Tabel 2. Orthogonal Array *array* $L_{18} (2^1 \times 6^3)$

Percobaan	Parameter Mesin Injeksi						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3
5	1	2	2	2	3	3	1
6	1	2	3	3	1	1	2
7	1	3	1	2	1	3	2
8	1	3	2	3	2	1	3
9	1	3	3	1	3	2	1
10	2	1	1	3	3	2	2
11	2	1	2	1	1	3	3
12	2	1	3	2	2	1	1
13	2	2	1	2	3	1	3
14	2	2	2	3	1	2	1
15	2	2	3	1	2	3	2
16	2	3	1	3	2	3	1
17	2	3	2	1	3	1	2
18	2	3	3	2	1	2	3

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tahun 2021 di PT. TT Indonesia yang berada di daerah Kabupaten Bekasi. Perusahaan ini merupakan perusahaan injeksi plastik, dimana produk-produk yang dibuatnya merupakan komponen-komponen otomotif dan elektronika. Beberapa komponen otomotif yang diproduksi di perusahaan ini diantaranya *head lamp* dan *back lamp* beserta *bracket-bracketnya*, *acid container* dan *cover*, dan lain-lain.

Target/Subjek Penelitian

Proses produksi *acid container* saat ini mengalami kendala karena banyaknya jumlah produk yang cacat, dimana dilaporkan jumlah cacat melebihi 10%. Jenis cacat produk yang sangat signifikan saat ini adalah cacat bocor / bolong pada bagian *gate* dan cacat pecah pada bagian pertemuan aliran material / *weld-line*. Dengan adanya penelitian ini, maka diharapkan dapat memberikan masukan perbaikan parameter seting mesin sehingga rasio untuk kedua jenis cacat tersebut dapat diturunkan atau bahkan dihilangkan.

Prosedur Penelitian

Setiap parameter mesin injeksi, sebagaimana tertera dalam Tabel 1 dan Tabel 2, dimasukkan ke dalam mesin injeksi. Kemudian dilakukan proses injeksi dan dilakukan pembuangan produk sebanyak 5 *shot* pertama. Pembuangan produk pada 5 *shot* pertama ini dimaksudkan agar produk yang tercetak terhindar dari *short-mold*. Setelah itu, diambil sampel sebanyak 5 *shot* kedua untuk dilakukan pengukuran dimensi panjang, lebar, dan tinggi dengan menggunakan *digimatic caliper*. Jika hasil pengukuran dimensi dinyatakan *OK* atau sesuai dengan spesifikasinya, maka proses injeksi dilanjutkan dan diambil sampel sebanyak 100 *shot* untuk setiap percobaan.

Setiap produk yang keluar dari mesin injeksi dilakukan pengecekan secara 100%. Adapun item-item pengecekannya adalah kebocoran pada area *gate* secara visual, pengecekan pecah pada area *weld-line* secara visual, dan juga dilakukan pengecekan kekuatan dinding sekat dengan cara ditekan secara manual selama 3 detik. Gambar 2 di bawah ini menunjukkan metode penekanan secara manual.



Gambar 2. Pengecekan kekuatan dinding dengan cara ditekan manual

Data dan Teknik Pengumpulan Data

Setiap sampel produk yang ditemukan *NG*, baik itu *NG* karena bocor / bolong di *gate* atau *NG* karena pecah di area *weld-line*, kemudian dicatat dan dipisahkan untuk dapat

dianalisis lebih lanjut. Jumlah cacat pada setiap percobaan kemudian dikonversi menjadi prosentase cacat. Prosentase produk cacat dapat dilihat pada Tabel 3.

Teknik Analisis Data

Penelitian eksperimen ini bertujuan untuk mendapatkan produk dengan prosentase cacat yang paling rendah. Oleh karena itu metode analisis data akan menggunakan *signal to noise ratio* (SNR) *smaller the best*. Selanjutnya, optimalisasi nilai-nilai yang diamati ditentukan dengan membandingkan analisis standar. Adapun SNR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$SNR = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

Tabel 3. Prosentase Cacat

Percobaan	Parameter Mesin Injeksi							Prosentase Cacat
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	0.09
2	1	1	2	2	2	2	2	0.09
3	1	1	3	3	3	3	3	0.05
4	1	2	1	1	2	2	3	0.06
5	1	2	2	2	3	3	1	0.07
6	1	2	3	3	1	1	2	0.06
7	1	3	1	2	1	3	2	0.07
8	1	3	2	3	2	1	3	0.07
9	1	3	3	1	3	2	1	0.07
10	2	1	1	3	3	2	2	0.08
11	2	1	2	1	1	3	3	0.09
12	2	1	3	2	2	1	1	0.05
13	2	2	1	2	3	1	3	0.07
14	2	2	2	3	1	2	1	0.1
15	2	2	3	1	2	3	2	0.05
16	2	3	1	3	2	3	1	0.03
17	2	3	2	1	3	1	2	0.04
18	2	3	3	2	1	2	3	0.05

Setelah mendapatkan nilai SNR, kemudian dilanjutkan dengan menghitung rata-rata efek untuk prosentase cacat yang terjadi, dan juga efek SNR. Contoh penghitungan rata-rata efek prosentase cacat A1 =

$$\overline{A1} = \frac{0.09 + 0.09 + 0.05 + 0.06 + 0.07 + 0.06 + 0.07 + 0.07 + 0.07}{9} = 0,07$$

Kemudian dihitung efek dari faktor A yang merupakan pengurangan dari respon terbesar dikurangi dengan respon terkecil, penentuan ranking yang merupakan urutan dari nilai efek terbesar ke nilai efek terkecil, dan penentuan parameter yang optimum.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian dan Pembahasan

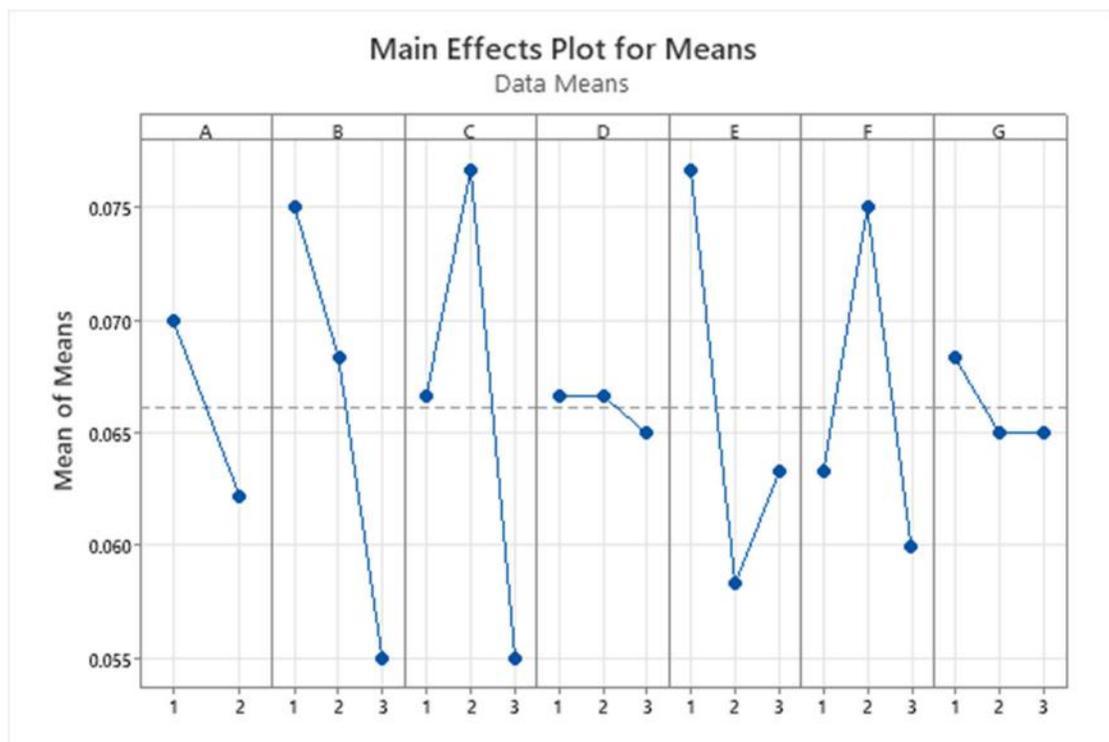
Hasil analisis data menggunakan DOE Taguchi diperoleh data SNR dan respon untuk nilai rata-rata, yang dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5. Adapun grafiknya dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4. SNR adalah salah satu indeks pengukuran untuk karakteristik kualitas. Titik-titik data dianalisis menggunakan pendekatan *smaller the best*, karena penelitian ini bertujuan untuk mengurangi cacat produk karena bocor di *gate* dan atau karena *crack* di area *weld-line*.

Tabel 4. Tabel *Signal to Noise Ratios* (SNR)

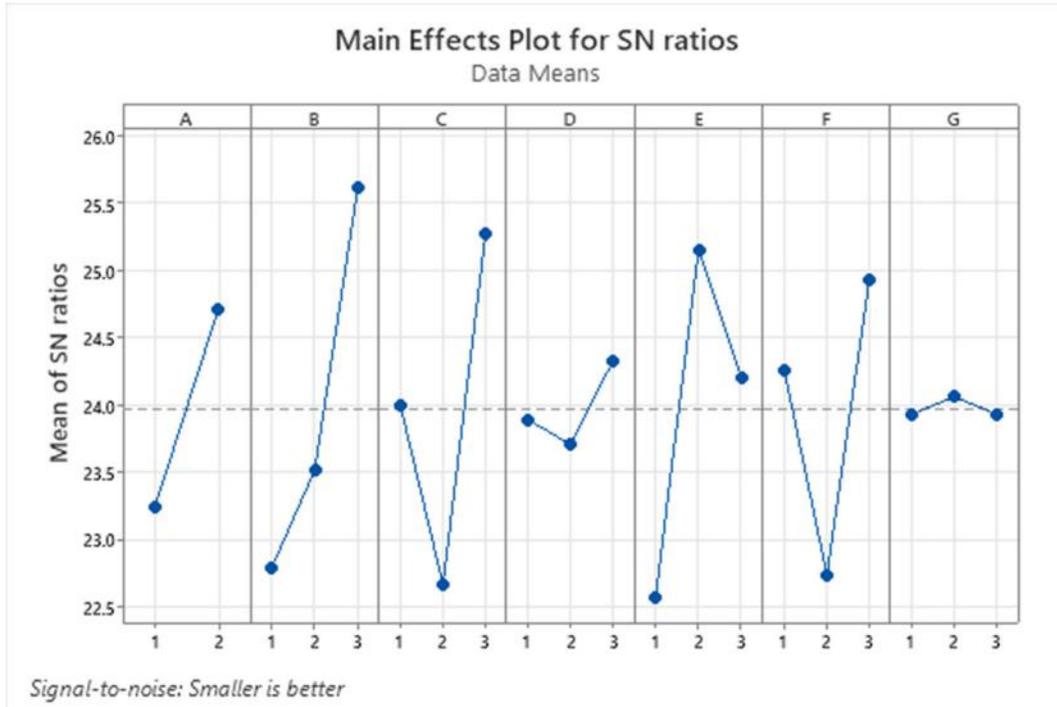
Response Table for Signal to Noise Ratios							
Smaller is better							
Level	A	B	C	D	E	F	G
1	23.24	22.79	23.99	23.89	22.56	24.25	23.93
2	24.71	23.52	22.66	23.71	25.16	22.73	24.06
3		25.62	25.27	24.33	24.20	24.94	23.93
Delta	1.48	2.83	2.61	0.62	2.59	2.20	0.13
Rank	5	1	2	6	3	4	7

Tabel 5. Tabel Respon untuk Nilai Rata-rata

Response Table for Means							
Level	A	B	C	D	E	F	G
1	0.07000	0.07500	0.06667	0.06667	0.07667	0.06333	0.06833
2	0.06222	0.06833	0.07667	0.06667	0.05833	0.07500	0.06500
3		0.05500	0.05500	0.06500	0.06333	0.06000	0.06500
Delta	0.00778	0.02000	0.02167	0.00167	0.01833	0.01500	0.00333
Rank	5	2	1	7	3	4	6



Gambar 3. Grafik Nilai Rata-rata



Gambar 4. Grafik Rata-rata SNR

Dari nilai SNR dan rata-rata diatas dapat ditentukan parameter mesin yang optimum, yaitu dengan kombinasi A2 B3 C3 D3 E2 F3 G3.

Tabel 6. Optimasi Parameter Mesin

	A	B	C	D	E	F	G
Mean	A2	B3	C3	D3	E2	F3	G3
SNR	A2	B3	C3	D3	E2	F3	G3
Rank	5	1	2	6	3	4	7

Dari hasil penentuan rancangan parameter mesin yang optimal, maka dilakukan prediksi respon dari rancangan tersebut. Setelah itu dilakukan kembali eksperimen sebagai verifikasi dari prediksi rancangan. Jika hasil eksperimen menghasilkan prosentase produk cacat yang lebih kecil atau mendekati hasil prediksi rancangan, maka rancangan dapat dikatakan sudah memadai. Adapun jika hasil eksperimen malah menghasilkan prosentase produk cacat yang tidak menurun dan bahkan bertambah, maka rancangan

belum memadai dan perlu dilakukan pengujian ulang. Parameter optimum mesin kemudian dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekomendasi Optimum Parameter Mesin

Faktor	Parameter	Satuan	Rekomendasi Optimum
A	Kecepatan Injeksi	rpm	255
B	Temperatur melting	⁰ C	240
C	Tekanan Injeksi	MPa	85
D	Tekanan Holding	MPa	41
E	Waktu Holding	detik	8
F	Waktu Pendinginan	detik	11
G	Temperatur Pendinginan	⁰ C	13

Konfirmasi Eksperimen

Dengan menggunakan Tabel respon SNR, konfirmasi eksperimen SNR dapat diestimasi dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Z = \bar{Z} + (A2 + B3 + C3 + D3 + E2 + F3 + G3) - 6 \times \bar{Z}$$

$$Z = 54,22$$

Konfirmasi eksperimen dengan menggunakan rekomendasi parameter optimum diperoleh sebanyak 78% produk cacat dapat dikurangi dari kondisi awal.

Tabel 8. Konfirmasi Eksperimen

<i>Run</i>	Jumlah Cacat
1	0.025
2	0.015
3	0.025
<i>Mean</i>	0.022

Peningkatan produk sesuai spesifikasi = $(0,1 - 0,22)/0,1) \times 100 = 78\%$.

KESIMPULAN DAN IMPLIKASI

Perbaikan parameter mesin injeksi untuk proses produksi *acid container* dengan menggunakan metode Taguchi menghasilkan kombinasi kecepatan injeksi 255 rpm, temperature melting 240 ⁰C, tekanan injeksi 85 MPa, tekanan holding 41 MPa, waktu holding 8 s, waktu pendinginan 11 s, dan temperatur pendinginan 13 ⁰C. Kombinasi ini

menghasilkan perbaikan hasil produksi, dengan menurunkan produk cacat hingga menjadi maksimal 2,5%.

Untuk perbaikan selanjutnya, diameter *gate*, diameter *nozzle*, dan desain *acid container* pada bagian *gate*, serta kombinasi penggunaan material perlu untuk dianalisis agar rasio produk cacat dapat diturunkan kembali agar dapat mendekati nol persen cacat.

DAFTAR PUSTAKA

1. S. Kamaruddin, Zahid A. Khan, and S.H. Fong. (2010). Application of Taguchi Method in the Optimization of Injection Moulding Parameters for Manufacturing Products from Plastic Blend. IACSIT International Journal of Engineering and Technology. Vol. 2 No. 6. <http://www.ijetch.org/papers/184-T565.pdf>
2. M. V. Kavde, S. D. Kadam. (2012). Parameter Optimization of Injection Molding of Polypropylene by using Taguchi Methodology. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE). Volume 4, Issue 4 (Nov. - Dec. 2012), PP 49-58. <https://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/vol4-issue4/G0444958.pdf>
3. E. Farotti, M. Natalini. (2017). Injection Molding. Influence of process parameters on mechanical properties of polypropylene polymer. A first study. AIAS 2017 International Conference on Stress Analysis, AIAS 2017, 6-9 September 2017, Pisa, Italy. https://www.researchgate.net/publication/322913253_Injection_molding_Influence_of_process_parameters_on_mechanical_properties_of_polypropylene_polymer_A_first_study
4. Radhwan Hussin, Rozaimi Mohd Saad, Razaidi Hussin, Mohd Syedi Imran Mohd Dawi. (2014) An Optimization of Plastic Injection Molding Parameters Using Taguchi Optimization Method, *Asian Transactions on Engineering (ATE ISSN: 2221-4267)*. Volume 02 Issue 05. https://www.researchgate.net/publication/260796857_An_Optimization_of_Plastic_Injection_Molding_Parameters_Using_Taguchi_Optimization_Method
5. Didik Wahjudi, Gan Shu San. Optimasi Proses Injeksi dengan Metode Taguchi. (2001). *Jurnal Teknik Mesin*. Universitas Kristen Petra. <https://ojs.petra.ac.id/ojsnew/index.php/mes/article/view/15935>
6. M. Puji Ibnu Mimbar Maulana, Cahyo Budiyanoro, Harini Sosiati. (2017). Optimalisasi Parameter Proses Injeksi Pada ABS Recycle Material Untuk Memperoleh Shrinkage Longitudinal dan Transversal Minimum. *Jurnal Material dan Proses Manufaktur*. Vol 1, 1-10 Juni 2017. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. <https://journal.umy.ac.id/index.php/jmpm/article/view/2688>
7. Tapan P Bagchi, Taguchi Method Explained. (1993). *Prentice Hall of India, New Delhi*. India.