

Penurunan Waktu Siklus Proses Cetak Injeksi Produk Tutup Plastik Melalui Simulasi Moldflow

¹Suci Rahayu, ²Uma Fadzilia Arifin

^{1,2} Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik Politeknik ATK Yogyakarta
Jl. Prof. Dr. Wirdjono Prodjodikoro, Glugo, Panggunharjo, Sewon, Bantul, Yogyakarta 55188
e-mail: umafadzilia67@gmail.com

Abstrak

Waktu siklus produksi merupakan faktor integral penentu keberhasilan proses produksi. Semakin tinggi waktu siklus maka waktu yang diperlukan untuk proses produksi akan semakin lama sehingga dapat menurunkan efisiensi dan efektivitas proses produksi. Produksi tutup plastik menggunakan mesin cetak injeksi. Waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan tutup plastik satu kali cetak relatif tinggi yaitu 33 detik. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan waktu siklus produksi tutup plastik selama proses cetak injeksi melalui simulasi menggunakan *software Autodesk Moldflow*. Simulasi dilakukan untuk menentukan parameter suhu optimal dimana parameter lain dibuat tetap. Rancangan eksperimen simulasi ini menggunakan metode Taguchi dengan *orthogonal array* sebagai matriks simulasi. Analisis hasil simulasi dilakukan dengan bantuan *software Minitab 19* untuk menentukan nilai respon rasio S/N menggunakan kategori *smaller is better*. Berdasarkan nilai rasio S/N diperoleh kombinasi parameter suhu proses optimal yaitu 180°C untuk suhu pelelehan dan 32°C untuk suhu cetakan untuk dapat menurunkan waktu siklus sebesar 9,34 detik. Hasil simulasi menunjukkan waktu siklus yang dibutuhkan untuk satu kali produksi tutup plastik menjadi 23,66 detik.

Kata kunci: waktu siklus produksi; cetak injeksi; parameter suhu; moldflow; taguchi

Abstract

The cycle time is the integral factors of the production process. The higher the cycle time, the longer the time for the production process so as to reduce the efficiency and effectiveness of the production process. Plastic cap production uses an injection molding machine. The time required to produce a plastic cap is relatively high is about 33 seconds. This study aims to reduce the cycle time of plastic caps production during the injection molding process through simulation using Autodesk Moldflow software. Simulation was conducted to determine the optimal temperature parameter where other parameters are kept constant. The design of this simulation experiment used the Taguchi method with an orthogonal array as the simulation matrix. The simulation results was analyzed using the Minitab 19 software to determine the response value of the S/N ratio in the smaller is better category. Based on the value of the S/N ratio, the optimal combination of process temperature parameters is 180°C for melt temperature and 32°C for mold temperature to be able to reduce cycle time by 9.34 seconds. The simulation results show that the cycle time required for plastic cap production is 23.66 seconds.

Keywords: *production cycle time; injection molding; temperature parameters; moldflow; taguchi*

Diterima: 28 July 2023
Disetujui: 13 Desember 2023
Dipublikasi: 31 Desember 2023

©2023 Suci Rahayu, Uma Fadzilia Arifin
Under the license CC BY-SA 4.0

Pendahuluan

Tutup plastik merupakan salah satu bagian produk kemasan botol yang berguna untuk menjaga material di dalam botol agar tidak bocor atau terkontaminasi material lain. Tutup plastik diproduksi menggunakan mesin cetak injeksi. Teknologi cetak injeksi menawarkan keunggulan dalam pemrosesan plastik karena memiliki kemampuan

menghasilkan produk dengan bentuk kompleks, presisi tinggi dan membutuhkan biaya rendah dalam satu langkah proses (Tony et al., 2018; Moayyedien & Mamedov, 2019). Proses pengolahan plastik menggunakan mesin cetak injeksi terdiri dari 4 tahap yaitu pengisian, pencetakan, pendinginan, dan pengeluaran. Setiap tahapan proses tersebut menentukan waktu siklus produksi (Mukras, 2020) .

Waktu siklus produksi merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan semua tahap cetakan injeksi hingga menghasilkan suatu produk (Munendra, 2018). Waktu siklus produksi merupakan faktor penting selama produksi karena terkait langsung dengan biaya produksi. Pengurangan waktu siklus (bahkan dalam satuan detik) pada salah satu tahapan proses dapat menghemat waktu dan biaya produksi dalam jangka panjang terutama untuk produksi masal (Mukras, 2020). Setiap tahapan proses cetak injeksi dalam produksi plastik dipengaruhi oleh parameter proses.

Parameter proses cetak injeksi yang berpengaruh terhadap waktu siklus produksi meliputi suhu leleh, suhu cetakan, tekanan injeksi, tekanan pencetakan, waktu pendinginan, dan sebagainya (Kitayama et al., 2019; Kale et al., 2021). Pengurangan waktu siklus produksi dengan tetap mempertahankan kualitas produk membutuhkan uji coba berulang. Proses ujicoba produksi untuk menentukan proses optimal dapat merugikan perusahaan karena menambahkan biaya dan waktu (Anwar et al., 2018). Salah satu proses optimalisasi yang efisien yaitu menggunakan simulasi uji coba proses injeksi secara virtual atau digital dengan bantuan *software Moldflow*.

Software Moldflow merupakan alat pencegahan atau korektif yang dapat membantu para insinyur untuk menganalisis proses, mengurangi siklus waktu produksi, dan meningkatkan kualitas produk (Vishnuvarthan et al., 2013). Simulasi proses injeksi menggunakan *Moldflow* memberikan kesempatan uji coba digital dan penilaian secara cepat terhadap produk tertentu dengan cara melakukan optimalisasi parameter proses (Tutak, 2018). Analisa hasil simulasi *Moldflow* dilakukan dengan bantuan *software Minitab 19* menggunakan metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan desain eksperimen dengan teknik optimasi guna memperbaiki kualitas produk, menekan biaya produksi serta sumber daya lain (Wulandari et al., 2016).

PT.X memproduksi tutup plastik menggunakan mesin cetak injeksi. Masalah yang dihadapi PT. X yaitu tingginya waktu siklus produksi tutup plastik yaitu 33 detik setiap satu kali produksi sehingga mengalami kesulitan dalam memenuhi permintaan pelanggan dan sering mengalami keterlambatan dalam pengiriman produk. Hal tersebut yang mendasari dilakukannya percobaan untuk menurunkan waktu siklus produksi tutup plastik selama proses cetak injeksi melalui simulasi menggunakan *software Autodesk Moldflow*. Simulasi *moldflow* dengan metode Taguchi ini diharapkan mampu menjadi

solusi untuk menentukan parameter suhu proses optimal terutama suhu pelelehan dan suhu cetakan dalam rangka menurunkan waktu siklus produksi sehingga perusahaan bisa menghemat biaya dari berbagai aspek.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode Taguchi dalam analisis hasil simulasi. Metode tersebut menggunakan desain eksperimen berupa matriks orthogonal sebagai matriks simulasi dan rasio S/N sebagai analisisnya (Singh et al., 2018). Ada tiga tahap penyelesaian masalah menggunakan metode Taguchi, yaitu.

- 1. Tahap perencanaan**, merupakan tahap dimana level dan faktor simulasi telah dipilih dan dibuat matriks orthogonal untuk melakukan simulasi *Moldflow*. Perencanaan simulasi dilakukan pemilihan faktor dan level simulasi dimana faktor yang dipilih adalah suhu pelelehan dan suhu cetakan pada mesin cetak injeksi. Parameter tekanan injeksi, tekanan pencetakan, waktu pendinginan dan parameter lain dibuat tetap. Penentuan level didasarkan pada suhu leleh (*melting point*) HDPE yaitu 130°C sehingga pengaturan parameter suhu proses produksi produk dapat dilakukan pada suhu pelelehan (180°C - 240°C) dan suhu cetakan (20°C - 40°C) (Ghanim et al., 2017) . Faktor dan level simulasi tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Faktor dan Level Simulasi

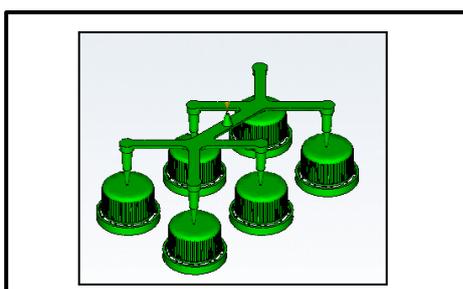
Kode	Parameter	Level		
		1	2	3
A	Suhu Pelelehan	180°C	210°C	240°C
B	Suhu Cetakan	32°C	36°C	40°C

Faktor dan level tersebut kemudian dibuat matriks orthogonal menggunakan *software Minitab 19* untuk membuat matriks simulasi seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2. Matriks simulasi berisi kombinasi faktor dan level simulasi untuk sembilan kali simulasi.

Tabel 2 Matriks Simulasi

No. Percobaan	Level	
	A	B
1.	1	1
2.	1	2
3.	1	3
4.	2	1
5.	2	2
6.	2	3
7.	3	1
8.	3	2
9.	3	3

2. **Tahap pelaksanaan**, merupakan tahap pelaksanaan simulasi menggunakan *software* simulasi *Autodesk Moldflow Adviser 2014* hingga didapatkan hasil simulasi berupa nilai siklus waktu produksi. Tahap awal simulasi yaitu meng-*import* model 3D tutup plastik dari *software Solidworks* ke *software autodesk moldflow adviser* yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Simulasi diawali dengan menentukan parameter proses material plastik HDPE serta parameter proses suhu pelelehan dan suhu cetakan. Selanjutnya dilakukan analisis waktu siklus produksi (*cycle time*) menggunakan *autodesk moldflow adviser 2014*.



Gambar 1. Model 3D Tutup Plastik

3. **Tahap analisis**, merupakan tahap analisis respon rasio S/N berdasarkan nilai siklus waktu produksi hasil simulasi untuk mengetahui kombinasi faktor dan level yang optimal untuk menurunkan siklus waktu produksi. Analisis yang digunakan dengan menentukan nilai rasio S/N. Nilai tersebut berguna untuk menentukan parameter proses optimal (Martowibowo & Khloeun, 2019).

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Data awal yang diperoleh melalui observasi proses pembuatan tutup plastik berbahan plastik High Density Polyethylene (HDPE) menunjukkan waktu siklus produksi tutup plastik yaitu 33 detik setiap satu kali produksi. Hasil simulasi menggunakan *software Autodesk Moldflow Adviser* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Data Hasil Simulasi

No. Percobaan	Suhu Pelelehan (°C)	Suhu Cetakan (°C)	Waktu siklus produksi (detik)
1.	180	32	23,66
2.	180	36	24,15
3.	180	40	24,92
4.	210	32	25,12
5.	210	36	25,62
6.	210	40	26,12
7.	240	32	26,35
8.	240	36	26,85
9.	240	40	27,60

Analisis hasil simulasi menggunakan rasio S/N berbantuan *software Minitab 19* disajikan pada Tabel 4. Nilai rasio S/N dilakukan normalisasi untuk menentukan parameter optimal.

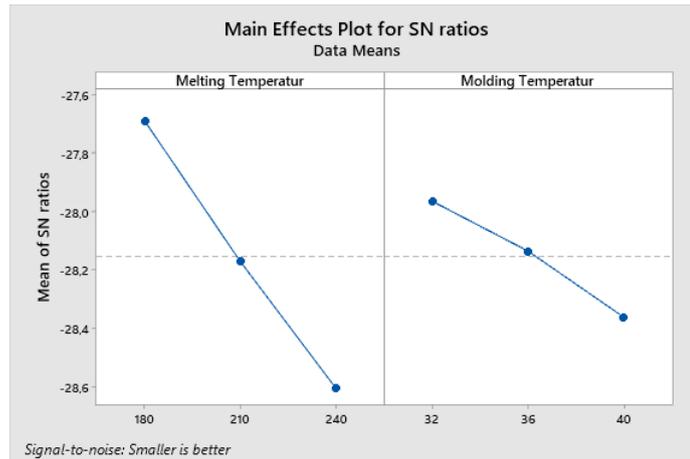
Tabel 4 Data Nilai Respon Rasio S/N pada Hasil Simulasi

No.	Level A	Faktor A	Level B	Faktor B	Waktu siklus produksi (detik)	Rasio S/N	Nilai Normalisasi Rasio S/N
		Suhu Pelelehan (°C)		Suhu Cetakan (°C)			
1	1	180	1	32	23,66	-27,4803	1
2	1	180	2	36	24,15	-27,6583	0,8670
3	1	180	3	40	24,92	-27,9310	0,6631
4	2	210	1	32	25,12	-28,0004	0,6112
5	2	210	2	36	25,62	-28,1716	0,4832
6	2	210	3	40	26,12	-28,3395	0,3577
7	3	240	1	32	26,35	-28,4156	0,3009
8	3	240	2	36	26,85	-28,5789	0,1788
9	3	240	3	40	27,60	-28,8182	0

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa kombinasi faktor dan level optimal yaitu level 1 untuk suhu pelelehan yaitu 180°C dan suhu cetakan adalah 32°C dengan nilai waktu siklus produksi yang dihasilkan adalah 23,66 detik. Rata-rata nilai rasio S/N setiap level disajikan pada Tabel 5. Sedangkan hasil analisis respon rasio S/N ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 5 Nilai Rata – Rata Rasio S/N Setiap Level

Level	Suhu Pelehan (°C)	Suhu Cetakan (°C)
1	0,8433	0,6373
2	0,4841	0,5097
3	0,1599	0,3403
Delta	0,68	0,29
Rank	1	2



Gambar 2. Hubungan Respon Rasio S/N terhadap Parameter Proses

Pembahasan

1. Pengaruh Parameter Suhu Proses

Parameter suhu proses pada produksi tutup plastik menggunakan mesin cetak injeksi sangat berpengaruh terhadap waktu yang diperlukan untuk sekali cetak. Waktu yang dibutuhkan mesin untuk membuat atau memproduksi suatu produk disebut dengan waktu siklus produksi (Maulana et al., 2017). Apabila waktu siklus produksi semakin cepat maka permintaan pelanggan akan semakin cepat terpenuhi. Satu kali cetak atau satu kali injeksi mesin tersebut menghasilkan enam buah produk tutup plastik untuk ukuran botol satu liter. Saat ini produksi tutup plastik membutuhkan waktu siklus produksi rata-rata selama 33 detik untuk satu kali cetak. Hal tersebut merupakan sebuah pemborosan waktu dimana jika dikalkulasi dalam satu menit hanya bisa memperoleh dua belas buah tutup plastik sehingga biaya dan tenaga yang dibutuhkan juga semakin tinggi.

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa semakin tinggi suhu pelelehan dan suhu cetak maka waktu siklus produksi semakin besar pula. Waktu siklus produksi terendah yaitu 23,66 detik dengan suhu pelelehan 180°C dan suhu cetakan 32°C. Sedangkan waktu siklus produksi tertinggi yaitu 27,60 detik dengan suhu pelelehan 240°C dan suhu cetakan 40°C. Hal ini sejalan dengan penelitian Kitayama et al., (2019) yang menyatakan bahwa suhu cetakan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap waktu siklus produksi karena semakin tinggi suhu cetakan maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk proses pendinginan dan pelepasan produk dari cetakan. Selain itu, parameter proses lain seperti suhu pelelehan material plastik dan zat aditif, suhu barrel juga berpengaruh terhadap lamanya waktu pendinginan produk sehingga juga berpengaruh signifikan terhadap waktu siklus produksi (Kale et al., 2021).

Material plastik yang digunakan pada produksi tutup plastik dalam percobaan ini yaitu jenis plastik HDPE. Pengaturan parameter suhu proses produksi akan berbeda untuk setiap jenis material plastik. Berdasarkan penelitian Ghanim et al., (2017), jenis plastik HDPE yang memiliki titik leleh (*melting point*) pada suhu 130°C sehingga pengaturan parameter suhu proses produksi produk dapat dilakukan pada suhu 140°C (*rear*), 160°C (*middle*), 180°C (*front*), suhu *nozzle* 200°C, suhu pelelehan (180°C - 240°C) dan suhu cetakan (20°C - 40°C). Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi dengan waktu siklus produksi tercepat yaitu 23,66 detik dengan suhu pelelehan 180°C dan suhu cetakan 32°C masih memenuhi pengaturan parameter suhu proses untuk produk dari material HDPE.

2. Parameter Suhu Proses Optimal

Penentuan parameter suhu proses optimal hasil simulasi menggunakan *Autodesk Moldflow* dianalisis menggunakan metode Taguchi. Metode *Taguchi* berguna untuk mengetahui faktor yang memiliki pengaruh yang signifikan melalui perhitungan statistik nilai rasio S/N (Trenngonowati et al., 2020). Tabel 4 menunjukkan bahwa simulasi ini dilakukan sebanyak sembilan kali dengan dua faktor yang masing-masing memiliki tiga level yaitu suhu pelelehan (180°C, 210°C, 240°C) dan suhu cetakan (32°C, 36°C, 40°C). Jumlah percobaan tersebut berdasarkan hasil desain matriks ortogonal yang menggunakan dua faktor beserta kombinasinya yaitu L9(3²) dimana angka 9 menunjukkan jumlah percobaan atau jumlah baris, angka 3 menunjukkan jumlah level, dan angka 2 menunjukkan jumlah faktor yang digunakan.

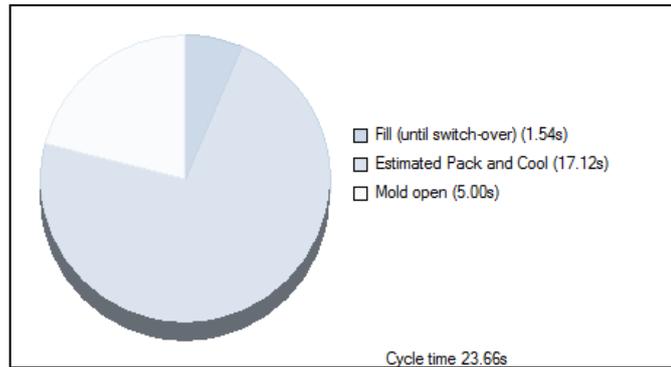
Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa nilai rasio S/N tertinggi sebesar -27,4803 pada percobaan 1 dengan suhu pelelehan 180°C dan suhu cetakan 40°C. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Singh et al., (2018) dapat diketahui bahwa nilai rasio S/N yang tinggi menunjukkan adanya *signal* yang lebih tinggi daripada *noise*, sehingga nilai respon rasio S/N yang tinggi menunjukkan level paling optimal dari setiap faktor. Oleh karena itu, dapat diketahui kombinasi pengaturan suhu pelelehan 180°C dan suhu cetakan 32°C pada proses produksi tutup plastik merupakan level paling optimal. Hasil ini juga dikuatkan dengan nilai normalisasi rasio S/N sebesar 1 pada level tersebut yang menunjukkan level optimal setiap faktor (Trenngonowati et al., 2020).

Selain itu, pengaruh signifikan salah satu faktor juga penting untuk diketahui. Berdasarkan Tabel 5 diperoleh informasi bahwa nilai delta atau selisih nilai rasio S/N tertinggi dan terendah. Delta yang dihasilkan untuk faktor suhu pelelehan sebesar 0,68 dan delta untuk suhu cetakan sebesar 0,29 sehingga faktor suhu pelelehan memiliki pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan dengan faktor suhu cetakan. Hal ini selaras

dengan dasar metode Taguchi bahwa semakin tinggi nilai delta maka semakin signifikan pengaruh dari faktor tersebut (Wulandari et al., 2016). Hal ini diperkuat dengan informasi dari Gambar 2 yang menunjukkan pengaruh nilai rasio S/N pada setiap level. Berdasarkan gambar tersebut diketahui bahwa suhu pelelehan memiliki pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan dengan suhu cetakan, hal tersebut ditunjukkan dengan nilai rasio S/N suhu pelelehan yang lebih tinggi daripada nilai rasio S/N suhu cetakan. Hasil simulasi menunjukkan nilai waktu siklus produksi yang semakin tinggi seiring dengan bertambahnya suhu pelelehan dan suhu cetakan, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh suhu pelelehan dan suhu cetakan berbanding lurus dengan waktu siklus produksi.

3. Penurunan Waktu Siklus Produksi Hasil Simulasi

Kombinasi optimal faktor suhu pelelehan dan suhu cetakan pada level 1 menghasilkan nilai waktu siklus produksi sebesar 23,66 detik disajikan pada Gambar 3. Hal tersebut menunjukkan bahwa simulasi berhasil menurunkan waktu siklus produksi sebesar 9,34 detik pada pembuatan tutup plastik satu liter yang sebelumnya sebesar 33 detik. Selain itu, Gambar 3 juga menginformasikan bahwa waktu siklus produksi merupakan jumlah waktu yang dibutuhkan mulai dari proses pemasukan material yang membutuhkan waktu 1.54 detik, proses pelelehan, pencetakan dan pendinginan 17.12 detik serta proses pengeluaran produk dari cetakan selama 5 detik dengan total waktu siklus 23.66 detik jika parameter suhu pelelehan 180°C dan suhu cetakan 32°C. Berdasarkan informasi tersebut dapat diketahui bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap waktu siklus produksi yaitu proses pelelehan, pencetakan dan pendinginan. Hal ini selaras dengan penelitian Kale et al., (2021) yang menunjukkan bahwa parameter proses cetak injeksi yang berpengaruh terhadap waktu siklus produksi meliputi suhu leleh, suhu cetakan, waktu pendinginan, dan sebagainya. Penurunan waktu siklus produksi tersebut dapat meminimalisir keterlambatan dalam pengiriman produk kepada pelanggan sehingga memiliki peran yang penting dalam meningkatkan permintaan pelanggan.



Gambar 3. Nilai *Waktu siklus produksi* Hasil Simulasi Level 1

Kesimpulan

Waktu siklus produksi dipengaruhi oleh parameter suhu pelelehan dan suhu cetakan. Parameter suhu pelelehan dan suhu cetakan optimal yang direkomendasikan untuk menurunkan waktu siklus produksi berdasarkan hasil simulasi dan analisis rasio S/N masing - masing adalah 180°C dan 32°C dengan lama siklus waktu produksi 23,66 detik. Hal ini menunjukkan terjadinya penurunan sebesar 9,34 detik dari semula. Namun, pada penelitian ini belum dilakukan pengujian kualitas tutup plastik yang diproduksi sehingga diharapkan ada penelitian lebih lanjut untuk validasi kualitas produk yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- Anwar, M. C., Budiyanoro, C., & Thoharudin, T. (2018). Optimalisasi parameter proses injeksi menggunakan simulasi moldflow untuk meminimalkan waktu siklus produksi dan eliminasi short shot pada produk tempat. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 2(1), 56–67. doi :10.18196/jmpm.2121
- Ghanim, R., Budiyanoro, C., & Sosiati, H. (2017). Comparison of optimum injection parameters in recycled and virgin material LDPE. *Jurnal Material Dan Proses Manufaktur*, 1(1), 21–30.
- Kale, P. D., Darade, P. D., & Sahu, A. R. (2021). A literature review on injection moulding process based on runner system and process variables. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1017(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1017/1/012031>
- Kitayama, S., Ishizuki, R., Takano, M., Kubo, Y., & Aiba, S. (2019). Optimization of mold temperature profile and process parameters for weld line reduction and short waktu siklus produksi in rapid heat cycle molding. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(5–8), 1735–1744. doi :10.1007/s00170-019-03685-3

- Martowibowo, S. Y., & Khloeun, R. (2019). Minimum warpage prediction in plastic injection process using taguchi method and simulation. *Manufacturing Technology*, 19(3), 469–476.
- Maulana, Mimbar, M. P. I., Budiyanoro, Cahyo, Sosiat, & Harini. (2017). Optimalisasi parameter proses injeksi pada ABS *recycle* material untuk memperoleh shrinkage longitudinal dan transversal minum. *Jurnal Material Dan Proses Manufaktur*, 1(1), 1–9.
- Moayyedean, M., & Mamedov, A. (2019). Multi-objective optimization of injection molding process for determination of feasible moldability index. *Procedia CIRP*, 84, 769–773. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.213>
- Mukras, S. M. S. (2020). Experimental-based optimization of injection molding process parameters for short product waktu siklus produksi. *Advances in Polymer Technology*, 2020. doi : 10.1155/2020/1309209
- Munendra, K. (2018). Waktu siklus produksi Optimization in Injection Moulding. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 4(6), 1153–1155.
- Singh, G., Pradhan, M. K., & Verma, A. (2018). Effect of injection moulding process parameter on tensile strength of using taguchi method. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 9(10), 1719–1724. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34089.13927>
- Tony, B. J. A. R., Karthikeyan, S., Alex, B. J. A. R., & Ali Hasan, Z. J. (2018). Injection molding parameters calculations by using visual basic (VB) programming. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 330(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/330/1/012088>
- Trenggonowati, D. L., Ulfah, M., Arina, F., & Wardhani, A. M. (2020). Pengendalian kualitas continuous tandem cold mill (CTCM) menggunakan metode Taguchi pada divisi cold rolling mill di PT. XYZ. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(2), 293.
- Tutak, P. (2018). Application of moldflow simulation in injection molding of plastic tank. *Journal of Applied Computer Science Methods*, 9(1), 79–88.
- Vishnuvarthanan, M., Panda, R., & Ilangovan, S. (2013). Optimization of injection molding waktu siklus produksi using moldflow analysis. *Middle East Journal of Scientific Research*, 13(7), 944–946.
- Wulandari, A. A., Wuryandari, T., & Ispriyanti, D. (2016). Penerapan metode taguchi untuk kasus multirespon menggunakan pendekatan grey relational analysis dan principal component analysis (studi kasus proses freis komposit GFRP). *Jurnal GAUSSIAN*, 5(4), 791–800.