

Analisa Pengaruh Variasi Ketebalan Material, Variasi Waktu Pemanasan, dan Variasi Tekanan Terhadap Kualitas Lembaran *Polystyrene* pada Proses *Vacuum Forming* dengan Metode Taguchi

M. A. Y. Rafi'i¹⁾, F. Rahmadianto²⁾

^{1),2)}Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Sigura-gura 2 Malang
Email : abidyn0612@gmail.com

Abstrak. *Semakin meningkatnya permintaan konsumen di era modernisasi saat ini terhadap berbagai produk yang salah satu paling diminati adalah produk dengan berbahan utama plastik seperti kemasan atau wadah untuk suatu produk. Plastik didesain dengan banyak variasi properti yang dapat tahan terhadap panas, keras, ketahanan, derajat kekristalan, dan lain-lain. Plastik salah satu bentuk komposit yang mampu adaptasi saat diaplikasikan, karena komposisi yang umum dan beratnya yang ringan, salah satu jenis plastik yaitu polystyrene yang telah banyak digunakan dalam kemasan maupun wadah produk karena memiliki karakteristik yang ringan, tahan lama, fleksibel, dan tahan korosi. Salah satu proses pembentukan plastik yang banyak digunakan yaitu metode vacuum forming. Proses pembentukan tersebut dengan cara memanaskan lembaran plastik hingga mencapai titik plastik dan kemudian akan dilakukan proses vakum yang nantinya akan membentuk sesuai cetakan. Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap kualitas lembaran polystyrene pada proses vacuum forming dengan menghitung variasi ketebalan material 0,5 mm, 0,7 mm, 1,0 mm ; variasi waktu pemanasan 10 detik, 15 detik, 20 detik ; dan variasi tekanan pemvakuman 4 cmHg, 6 cmHg, 8 cmHg. Pada hasil penelitian didapatkan kualitas optimal yaitu pada ketebalan material 0,5 mm, waktu pemanasan 20 detik, dan tekanan 8 cmHg.*

Katakunci: *Vacuum Forming, Kualitas, Polystyrene, Metode Taguchi.*

1. Pendahuluan

Semakin berkembangnya teknologi industri di era modernisasi saat ini mempengaruhi permintaan konsumen terhadap berbagai produk semakin banyak. Salah satu produk berbahan utama plastik yang paling diminati adalah kemasan atau wadah untuk suatu produk. Plastik yang digunakan untuk kemasan memiliki berbagai kelebihan, diantaranya yaitu fleksibel, bentuk laminasi (aneka warna, tidak mudah rusak, dan harga yang relatif murah) dan transparan [1]. Salah satu jenis plastik yaitu polystyrene yang telah banyak digunakan dalam kemasan maupun wadah produk karena memiliki karakteristik yang ringan, tahan lama, fleksibel, dan tahan korosi. Salah satu proses pembentukan plastik yang banyak digunakan yaitu metode vacuum forming.

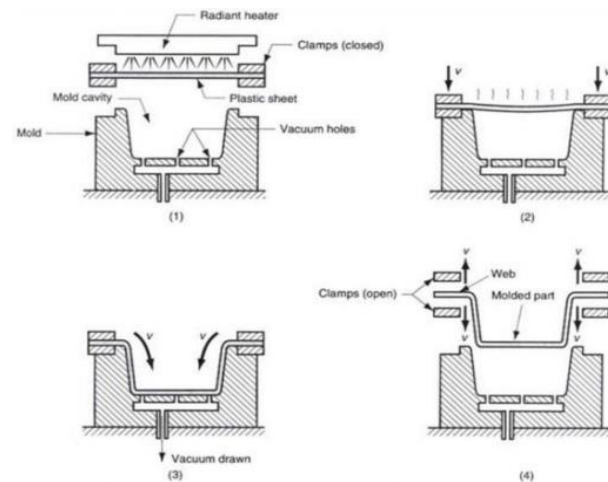
Pada dasarnya, vacuum forming merupakan suatu proses pembentukan lembaran plastik yang dimulai dengan memanaskan dan kemudian membentuk lembaran plastik untuk mendapatkan hasil dari bentuk yang diinginkan baik dengan cara memberikan vacuum (hisapan) atau pressure (tekanan) lembaran plastik terhadap cetakan (mold) [2]. Ada beberapa parameter yang dapat digunakan untuk menentukan kualitas hasil cetakan dari plastik pada proses vacuum forming diantaranya, jenis plastik dan ketebalan plastik, temperatur pemanasan dan tekanan vacuum yang digunakan. Salah satu material plastik yang banyak digunakan adalah polystyrene. Irwansyah et al., (2017) melakukan penelitian terhadap *cycle time process* pada proses *vacuum forming* dengan menggunakan material *polystyrene* dengan ketebalan 0,5 mm - 2,0 mm. Polystyrene memiliki karakteristik seperti ringan, tahan lama, fleksibel, dan tahan korosi. Pengaplikasian dari polystyrene antara lain untuk kemasan makanan, peralatan elektronik, dan peralatan rumah tangga.

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui kualitas dari produk yang dapat dihasilkan vacuum forming. Analisa kualitas produk ini terfokus terhadap lembaran polystyrene, dengan menghitung

ketebalan material, pengaruh waktu pemanasan, dan tekanan yang digunakan pada proses vacuum forming terhadap kualitas produk polystyrene yang nantinya memungkinkan untuk produksi komersial.

1.1. Vacuum Forming

Vacuum forming merupakan proses pembuatan produk dengan berbahan utama plastik yang umum dan sederhana melalui proses pemanasan dan tekanan. Selama proses pembuatan, lembaran plastik dipanaskan selanjutnya di bentuk dengan mengurangi tekanan udara, pemanas didekatkan pada lembaran plastik sampai melunak kemudian pemanas di jauhkan dan melakukan pengisapan udara [3]. Proses pembentukan lembaran plastik menggunakan metode *vacuum forming* yang banyak digunakan dalam prosesnya dipengaruhi beberapa parameter dalam pekerjaannya yaitu: ketebalan dan jenis plastik, temperatur pemanas dan *pressure* yang digunakan [4].



Gambar 1. Proses vacuum forming

1.2. Polystyrene

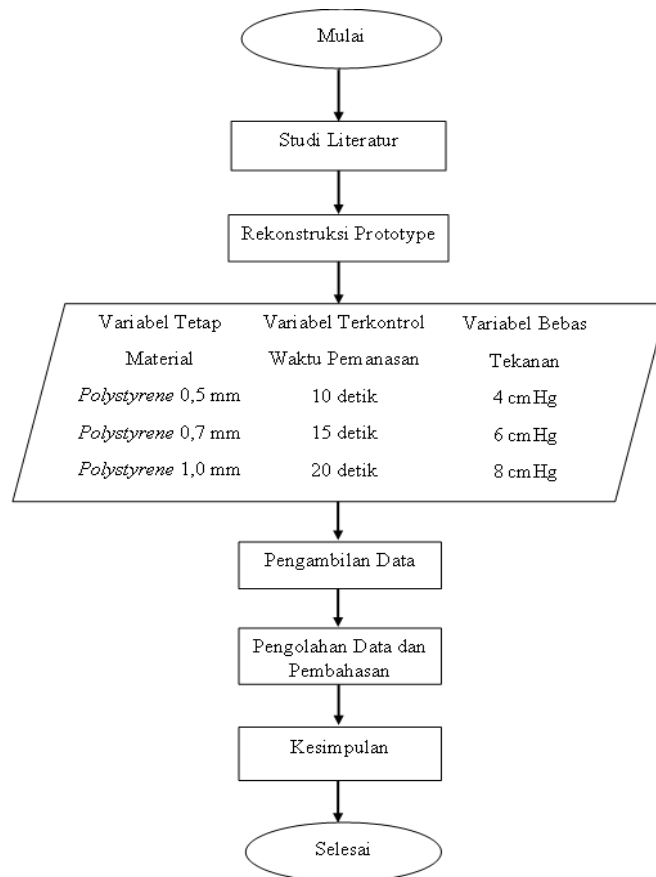
Plastik polistiren, atau plastik PS, merupakan sintetik-aromatic hidrokarbon-polimer yang dibentuk dari monomer stirena. Plastik PS tersedia baik dalam bentuk plastik solid pada umumnya, dan juga plastik busa (foam). *Polystyrene* (PS) juga biasa dikenal dengan *styrofoam* adalah polimer hidrofobik sintesis dengan berat molekul tinggi yang termasuk dalam jenis *thermoplastic*. PS dapat didaur ulang tetapi susah untuk dilakukan biodegradasi. Pada suhu ruangan PS dapat berbentuk padat, pada saat dipanaskan akan mencair dan kembali padat saat pendinginan [5]. PS digunakan dalam empat jenis produk: *General Purpose Polystyrene* (GPPS), *High Impact Polystyrene* (HIPS), *Expanded Polystyrene* (EPS) foam dan *Styrofoam* yang mengandung >98% *polystyrene*. Styrofoam banyak digunakan sebagai barang sekali pakai pada wadah daging/unggas di pertokoan, gelas minuman, piring/mangkok, karton telur atau wadah buah-buahan dan sayuran. Bahan dengan harga murah, ringan, fleksibel, tahan lama, tahan panas, dan tahan lembab menjadikannya pilihan utama sebagai bahan pengemas [6].

1.3. Metode Taguchi

Metode Taguchi, yang juga dikenal dengan Taguchi Desain atau Robust Desain adalah rancangan percobaan yang memungkinkan perusahaan untuk memilih produk atau proses yang berfungsi lebih konsisten di lingkungan operasi. Metode Taguchi menyadari bahwa tidak semua faktor yang menyebabkan variabilitas dapat dikendalikan. Faktor-faktor tak terkendali ini disebut dengan noise factor. Metode Taguchi mencoba mengidentifikasi faktor-faktor terkendali (Faktor kontrol) yang akan meminimalkan noise factor. Selama eksperimen, noise factor dimanipulasi untuk memaksa munculnya

variabilitas. Kemudian ditentukan faktor kontrol optimal yang membuat produk atau proses yang kuat, dan tahan terhadap variasi dari noise factor. Sebuah proses yang dirancang dengan menggunakan tujuan ini akan menghasilkan output yang lebih konsisten, sementara sebuah produk yang dirancang dengan menggunakan tujuan ini akan memberikan kinerja yang lebih konsisten [7].

1.4. Metode Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

1.5. Penjelasan Diagram Alir

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Tujuannya adalah untuk memperkuat permasalahan serta sebagai dasar teori dalam melakukan studi dan juga menjadi dasar untuk melakukan penelitian.

2. Rekonstruksi Prototype

Proses rekonstruksi terhadap mesin, dengan pembelian segala jenis kebutuhan material dan komponen untuk melakukan rekonstruksi terhadap mesin, antara lain yaitu:

- Perubahan terhadap dimensi *vacuum chamber* yang berdimensi 450x450x100 mm menjadi 450x450x60 mm.
- Menggunakan *double vacuum cleaner* dengan total daya 1100 watt.
- Perubahan terhadap *heater* yaitu elemen pemanas yang berjumlah 6 buah dengan masing-masing daya 1000 watt menjadi elemen pemanas berjumlah 7 buah dengan masing-masing daya 1500 watt.

3. Pengambilan Data

Proses pengambilan data dengan beberapa percobaan dan melakukan perhitungan waktu pada pemanasan lembaran serta melakukan perubahan terhadap tekanan yang digunakan yang mana pengujian ini dilakukan secara bergantian antara satu ketebalan material dengan ketebalan yang lain.

4. Pengolahan Data dan Pembahasan

Proses pengolahan data dilakukan dengan cara mengkomparasikan kualitas dari hasil proses *vacuum forming* dengan memperhatikan dimensi moulding dan hasil dari pengujian material tersebut serta memperhatikan beberapa cacat terhadap produk tersebut yang selanjutnya akan dianalisis. Pembahasan adalah proses menganalisis data hasil pengujian berdasarkan teori-teori yang berhubungan dengan topik penelitian.

5. Kesimpulan

Proses penarikan kesimpulan adalah proses akhir dari penelitian yang berisi kesimpulan dari komparasi kualitas dari material hasil pengujian dengan pengaruh variasi waktu pemanasan dan variasi tekanan terhadap kualitas lembaran *polystyrene* pada proses *vacuum forming*.

2. Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan menggunakan 3 variabel yaitu variasi waktu pemanasan dan variasi tekanan terhadap variasi ketebalan material *polystyrene*.

2.1. Proses Pengambilan Data

1. Melakukan pengukuran dan pemotongan terhadap material lembaran *polystyrene* sesuai dengan ukuran penjepit material yaitu 500 mm x 500 mm.



Gambar 3. Pengukuran dan Pemotongan Lembaran *Polystyrene* 500 mm x 500 mm

2. Meletakkan cetakan/mold yang akan digunakan, yaitu balok kayu dengan ukuran diatas vacuum chamber.



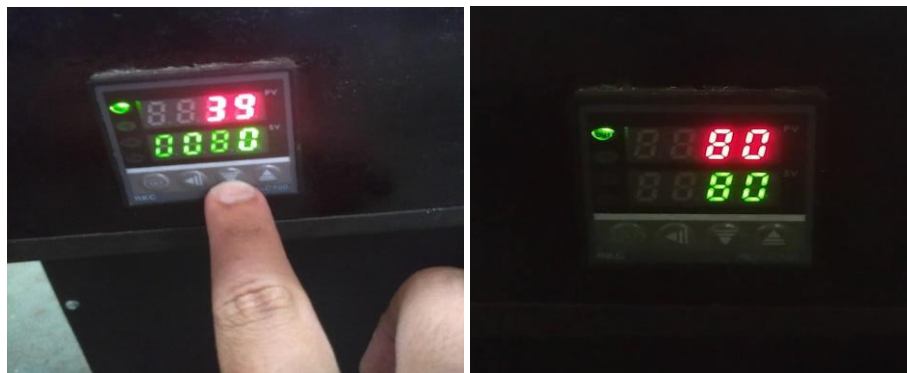
Gambar 4. Peletakan Cetakan diatas Vacuum Chamber

3. Menjepit lembaran *polystyrene* yang telah dipotong dan yang kemudian akan dilakukan untuk pengujian pada penjepit material.

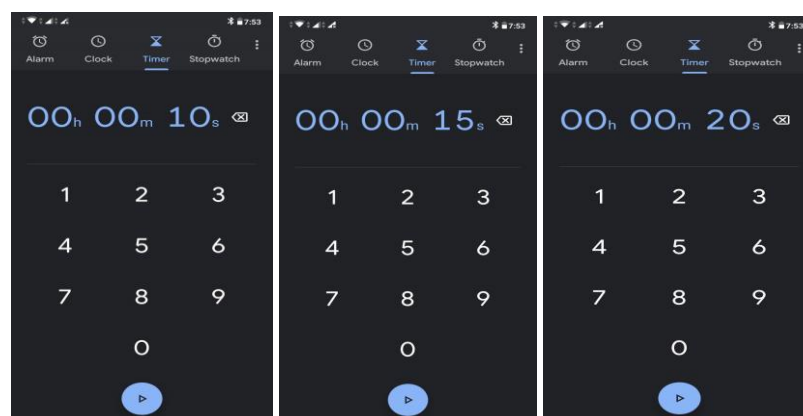


Gambar 5. Menjepit Lembaran *Polystyrene* pada Penjepit Material

4. Menyalakan mesin *vacuum forming* dan melakukan *setting* terhadap temperatur yang akan digunakan yaitu 80°C pada thermostat digital dan juga melakukan setting timer waktu pada *handphone* untuk waktu pemanasan yang akan digunakan yaitu 10 detik, 15 detik, dan 20 detik.



(a)



(b)

Gambar 6. (a) Temperatur, (b) Setting Timer Waktu Pemanasan

- Setelah temperatur *heater* yang ditunjukkan pada thermostat digital menunjukkan yang ditentukan yaitu 80°C , lalu meletakkan lembaran *polystyrene* yang sudah dijepit pada penjepit material diatas *heater* dan melakukan *timer* waktu yang digunakan.



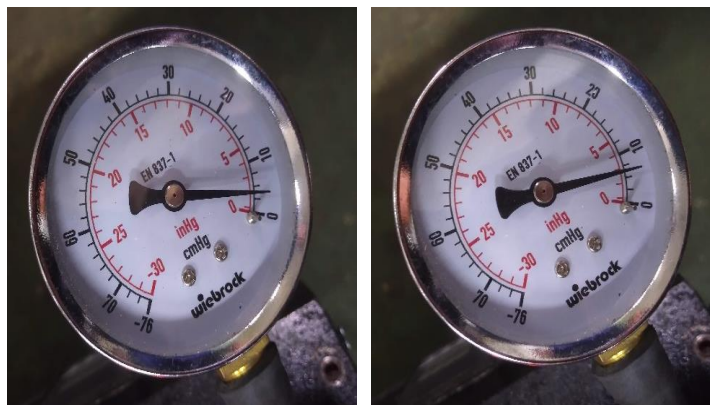
Gambar 7. Proses Pemanasan Lembaran *Polystyrene* diatas Heater

- Setelah melakukan pemanasan lembaran *polystyrene* sesuai dengan waktu pemanasan yang telah ditentukan, kemudian mengangkat penjepit lembaran *polystyrene* dan langsung menyalakan *switch vacuum* serta mengarahkan penjepit lembaran *polystyrene* di atas *vacuum chamber*.



Gambar 8. Mengangkat Penjepit ke Vacuum Chamber

- Lalu melakukan setting terhadap tekanan yang akan digunakan yaitu 4 cmHg, 6 cmHg, dan 8 cmHg. Masing-masing yang ditunjukkan pada strip satuan cmHg adalah kelipatan 2,5 cmHg.





Gambar 9. Setting Tekanan Pempvakuman

8. Kemudian melakukan proses pempvakuman pada lembaran *polystyrene* yang berada pada kondisi plastis terhadap cetakan/mold yang digunakan, lembaran *polystyrene* tersebut akan menyusut mengikuti bentuk dari cetakan yang digunakan. Kemudian lembaran *polystyrene* tersebut akan kembali seperti kondisi yang awalnya lunak menjadi keras.



Gambar 10. Proses Pempvakuman Lembaran *Polystyrene*

9. Setelah proses pempvakuman selesai, mengangkat penjepit *polystyrene* dari *vacuum chamber* yang kemudian akan dilakukan proses pendinginan dengan media udara pada temperatur ruangan ($\pm 27^{\circ}\text{C}$).



Gambar 11. Proses Pendinginan Lembaran *Polystyrene*

10. Setelah itu melakukan pelepasan lembaran *polystyrene* dari penjepit material.

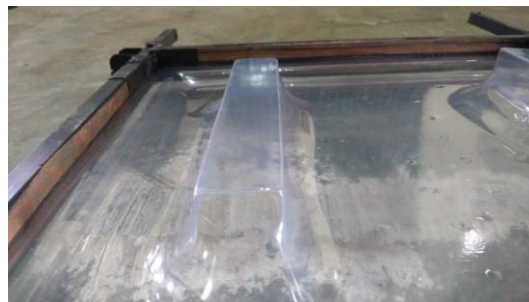


Gambar 12. Melepas lembaran *polystyrene* dari penjepit material *polystyrene*

11. Kemudian melakukan analisa kualitas lembaran *polystyrene* dengan cara pengukuran dimensi (panjang, lebar, dan tinggi), menganalisa cacat pada lembaran *polystyrene* serta memperhatikan detail kontur sesuai dengan cetakan pada hasil pengujian proses *vacuum forming*.



(a)



(b)

Gambar 13. (a) Pengukuran dimensi, (b) Analisa cacat dan detail kontur

Pada proses pengujian lembaran *polystyrene* pada proses *vacuum forming* ini menghasilkan total 27 sampel hasil uji dimana pada tiap pengujian akan dilakukan 3 kali uji coba dari masing-masing sampel tersebut. Dari 27 sampel tersebut akan dilakukan analisa menggunakan metode taguchi dengan “*larger is better*”, dari hasil analisa kualitas tersebut akan diketahui kombinasi dari variasi ketebalan *polystyrene*, variasi waktu pemanasan, dan variasi tekanan pemvakuman terhadap kualitas produk lembaran yang dihasilkan dengan cetakan yang digunakan, semakin baik produk yang dihasilkan maka kualitas akan semakin baik.

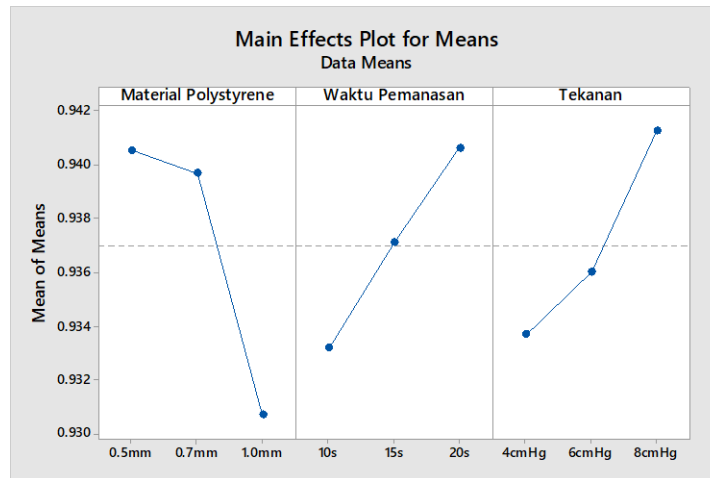
2.2. Tabel Hasil Pengujian

Tabel 1. Hasil Pengujian

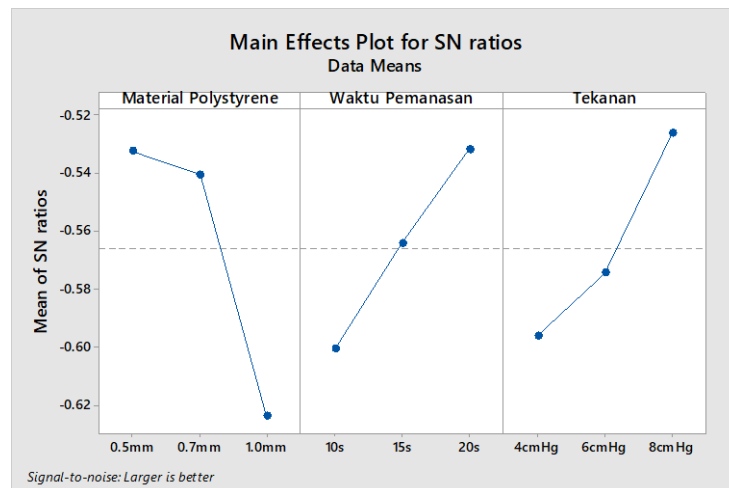
NoUji	Indeks Variabel			Uji 1 (%)	Uji 2 (%)	Uji 3 (%)	Rata-rata (%)
	Var. Tetap	Var. Terkontrol	Var. Bebas				
	Material	Waktu Pemanasan	Tekanan				
1	<i>Polystyrene</i> 0,5 mm	10 detik	4 cmHg	93.45%	93.55%	93.55%	93.52%
2	<i>Polystyrene</i> 0,5 mm	10 detik	6 cmHg	93.65%	93.90%	93.55%	93.70%
3	<i>Polystyrene</i> 0,5 mm	10 detik	8 cmHg	94.25%	94.40%	94.15%	94.27%
4	<i>Polystyrene</i> 0,5 mm	15 detik	4 cmHg	93.75%	93.75%	93.65%	93.72%
5	<i>Polystyrene</i> 0,5 mm	15 detik	6 cmHg	94.15%	93.80%	93.85%	93.93%
6	<i>Polystyrene</i> 0,5 mm	15 detik	8 cmHg	94.50%	94.55%	94.05%	94.37%
7	<i>Polystyrene</i> 0,5 mm	20 detik	4 cmHg	93.95%	94.30%	93.95%	94.07%
8	<i>Polystyrene</i> 0,5 mm	20 detik	6 cmHg	94.30%	94.00%	93.95%	94.08%
9	<i>Polystyrene</i> 0,5 mm	20 detik	8 cmHg	95.45%	94.75%	94.30%	94.83%
10	<i>Polystyrene</i> 0,7 mm	10 detik	4 cmHg	92.80%	92.70%	93.60%	93.03%
11	<i>Polystyrene</i> 0,7 mm	10 detik	6 cmHg	93.05%	93.65%	93.70%	93.47%
12	<i>Polystyrene</i> 0,7 mm	10 detik	8 cmHg	93.55%	93.00%	94.15%	93.57%
13	<i>Polystyrene</i>	15 detik	4 cmHg	93.10%	92.95%	94.10%	93.38%

	0,7 mm						
14	<i>Polystyrene</i> 0,7 mm	15 detik	6 cmHg	94.10%	93.60%	94.35%	94.02%
15	<i>Polystyrene</i> 0,7 mm	15 detik	8 cmHg	94.25%	95.55%	94.70%	94.83%
16	<i>Polystyrene</i> 0,7 mm	20 detik	4 cmHg	94.25%	93.70%	94.40%	94.12%
17	<i>Polystyrene</i> 0,7 mm	20 detik	6 cmHg	94.45%	93.55%	94.50%	94.17%
18	<i>Polystyrene</i> 0,7 mm	20 detik	8 cmHg	95.25%	94.45%	95.70%	95.13%
19	<i>Polystyrene</i> 1,0 mm	10 detik	4 cmHg	92.44%	92.30%	93.00%	92.58%
20	<i>Polystyrene</i> 1,0 mm	10 detik	6 cmHg	92.70%	92.35%	93.15%	92.73%
21	<i>Polystyrene</i> 1,0 mm	10 detik	8 cmHg	93.05%	92.80%	93.15%	93.00%
22	<i>Polystyrene</i> 1,0 mm	15 detik	4 cmHg	92.55%	92.90%	93.10%	92.85%
23	<i>Polystyrene</i> 1,0 mm	15 detik	6 cmHg	92.65%	92.75%	93.35%	92.92%
24	<i>Polystyrene</i> 1,0 mm	15 detik	8 cmHg	93.00%	93.60%	93.60%	93.40%
25	<i>Polystyrene</i> 1,0 mm	20 detik	4 cmHg	92.90%	93.00%	93.25%	93.05%
26	<i>Polystyrene</i> 1,0 mm	20 detik	6 cmHg	93.45%	93.35%	93.40%	93.40%
27	<i>Polystyrene</i> 1,0 mm	20 detik	8 cmHg	93.70%	93.75%	93.70%	93.72%

2.3. Grafik Analisa Taguchi



Gambar 14. Grafik Main Effects Plot for Means



Gambar 15. Grafik Main Effects Plot for SN ratios

2.4. Pembahasan Hasil Pengujian

Pengujian *polystyrene* dengan variasi ketebalan material 0,5 mm, 0,7 mm, dan 1,0 mm terhadap variasi waktu pemanasan 10s, 15s, dan 20s dan variasi tekanan pemvakuman 4cmHg, 6cmHg, dan 8cmHg mendapatkan hasil berdasarkan dari grafik *main effects plot for SN ratios* pada gambar di atas yang didapat dari proses analisa dengan metode taguchi, dengan meminimalkan faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan dan menggunakan karakteristik *larger is better*. Kualitas lembaran *polystyrene* terbaik diperoleh pada ketebalan material 0,5 mm dengan nilai sebesar -0.5326 karena material dengan ketebalan 0,5 mm lebih baik untuk membentuk sesuai dengan cetakan yang sudah ditetapkan dan juga memiliki detail kontur yang baik karena semakin tebal jenis plastik yang digunakan akan mempengaruhi mampu bentuk pada proses vacuum forming “ketebalan bahan merupakan parameter dari kualitas hasil cetakan dari plastik pada proses vacuum forming”[8]. Pada variabel waktu pemanasan hasil analisis dengan metode taguchi didapatkan nilai rata-rata kualitas terbaik adalah pada waktu pemanasan 20 detik sebesar -0,5319 karena waktu pemanasan mempengaruhi tingkat plastisitas yang nantinya akan mempengaruhi proses pembentukan terhadap cetakan “Temperatur dan waktu pemanasan sangat mempengaruhi mampu bentuk material pada proses pembentukan dengan vacuum forming”[9]. Pada variabel tekanan pemvakuman hasil analisis dengan metode taguchi didapatkan nilai rata-rata kualitas terbaik terdapat pada tekanan 8cmHg

sebesar $-0,5264$, hal tersebut dikarenakan tekanan pemvakuman mempengaruhi proses pembentukan material yang mengalami plastisitas terhadap cetakan, hal tersebut mempengaruhi detail kontur yang dihasilkan pada produk “Tekanan vakum yang digunakan sangat mempengaruhi proses pembentukan terhadap cetakan”[8].

3. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap pengaruh variasi ketebalan material, variasi waktu pemanasan, dan variasi tekanan terhadap kualitas hasil lembaran *polystyrene* maka dapat disimpulkan bahwa kualitas optimal didapatkan pada ketebalan material 0,5 mm, waktu pemanasan 20 detik, dan tekanan 8 cmHg. Parameter yang sangat yang sangat berpengaruh terhadap hasil kualitas dari penelitian ini ialah ketebalan material lalu variabel tekanan dan variabel waktu pemanasan. Data diatas didapatkan menggunakan Means yaitu hasil nilai rata-rata dan SN ratio menjadi penentu dengan meminimalkan faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan dan menggunakan karakteristik *larger is better*.

Daftar Pustaka

- [1] Akbarzadeh and M. Sadeghi, “Parameter Study in Plastic Injection Molding Process using Statistical Methods and IWO Algoritm,” *Int. J. Model. Optimization*, vol. 1, no. 2, pp. 44–57.
- [2] Irwansyah, D., Budiyanoro, C., Brawijaya Tamantirto, J., and Yogyakarta, D., “PERANCANGAN MESIN VACUUM FORMING UNTUK MATERIAL PLASTIK POLYSTYRENE (PS) DENGAN UKURAN MAKSIMAL CETAKAN 400x300x150 (mm 3),” vol. Vol. 1, no. Issue 2, 2017, [Online]. Available: <http://journal.umy.ac.id/index.php/jmpm>
- [3] Nusyirwan, “REKAYASA MESIN THERMOFORMING VACCUM,” p. 8, 2007.
- [4] Ghani, Yohana, and Wibowo, “Mampu Bentuk Plastik Pada Proses Vacuum forming Dengan Variasi Tekanan 0.979 Bar, 0.959 Bar, 0.929 Bar, 0.909 Bar Pada Temperatur 200 °c,” *Univ. Diponegoro*.
- [5] Ghosh, S. K., Pal, S., and Ray, S., “Study of microbes having potentiality for biodegradation of plastics.,” *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, vol. 20(7), pp. 4339–4355, doi: 10.1007/s11356-013-1706-x.
- [6] Ho, B. T., Roberts, T. K., and Lucas, S., “An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach,” *Crit. Rev. Biotechnol.*, vol. 38(2), pp. 308–320, 2018.
- [7] Shift Indonesia, “Taguchi Methods untuk Tingkatkan Kualitas,” *Shift Indonesia*, 2016.
- [8] Zhang, “Esxperiment and Modeling for Aeronautical and Aerospace Applications Series Editor Piotr Breitkopf”.
- [9] Edilla, E., “Penentuan Suhu Optimal Proses Pembentukan Profil pada Mesin Vakum Akrilik.,” *J. Elektro Dan Mesin Terap.*, vol. 3(2), pp. 1–10, 2017, doi: <https://doi.org/10.35143/elementer.v3i2.1523>.