

Analisa Pengaruh Variasi Waktu Pemanasan, Variasi Temperatur Dan Variasi Tekanan Terhadap Kualitas Hasil Polyethylene Terephthalate Pada Proses Vacuum Forming Dengan Metode Taguchi

D. A. Saputri ¹⁾, F. Rahmadiano ²

^{1),2),3)} Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang
Email : anggraenisa7890@gmail.com

Abstrak. Plastik yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari yaitu polyethylene terephthalate. Hal ini dikarenakan plastik ini ringan dan fleksibel sehingga dapat dibentuk sesuai dengan keinginan konsumen. Proses pembentukan yang dilakukan pada plastik ini disebut vacuum forming. Pemilihan proses pembentukan plastik dengan vacuum forming dinilai lebih cepat dan biaya yang relatif rendah. Penelitian ini menggunakan metode taguchi dengan karakteristik 'larger is better'. Metode taguchi dilakukan untuk meningkatkan suatu kualitas dari produk. Penulis melakukan penelitian ini untuk mengetahui kualitas hasil dengan variasi waktu pemanasan selama 15 detik, 20 detik dan 25 detik, juga variasi temperatur yaitu 50°C, 55°C, dan 60°C serta variasi tekanan sebesar -1,5 cmHg, -2 cmHg dan -2,5 cmHg. Material yang digunakan dalam penelitian ini yakni polyethylene terephthalate dengan ketebalan 0,75 mm dan berukuran 50 cm x 50 cm. Penelitian ini sebatas mengamati kualitas produk yang melingkupi mengamati detail kontur serta cacat yang terjadi dan dilakukan juga pengukuran dimensi. Setelah dilakukannya penelitian, berikut merupakan hasil penelitian yaitu ditemukan kombinasi variabel yang optimal adalah pemanasan selama 15 detik dengan temperatur 55°C dan tekanan sebesar -1,5 cmHg. Ditemukan juga bahwa setiap variabel memiliki keterkaitan satu dan lainnya.

Katakunci: Polyethylene Terephthalate, PET, Vacuum Forming, Metode Taguchi

1. Pendahuluan

A. Latar Belakang

Adanya globalisasi yang membuat teknologi dapat berkembang, menjadi pemicu permintaan dari konsumen terhadap beraneka macam produk semakin tinggi. Hal ini mengharuskan produsen untuk menghasilkan produk yang dapat memenuhi kebutuhan konsumen. Salah satu produk yang sangat diminati konsumen adalah produk berbahan plastik. Plastik sering dijumpai pada kehidupan sehari-hari. Contoh plastik yang sering digunakan pada kehidupan sehari-hari adalah plastik jenis *polyethylene terephthalate* (PET) yang dipakai sebagai material untuk pembuatan kemasan makanan dan minuman seperti botol air minum.

Polyethylene terephthalate (PET) sering digunakan untuk kemasan makanan dan minuman dikarenakan jenis plastik ini telah diakui aman untuk berkontak langsung dengan makanan atau minuman oleh *Food And Drug Administration* (FDA) Amerika Serikat. *Polyethylene terephthalate* (PET) memiliki karakteristik yang fleksibel dan tembus pandang. Plastik jenis ini juga bisa dibentuk menjadi sebuah produk yang bersifat kaku maupun semi kaku, bergantung pada proses pembentukannya. Salah satu proses pembentukan pada material plastik adalah *thermoforming*.

Thermoforming merupakan proses pembuatan suatu produk menggunakan lembaran plastik yang dipanaskan agar lunak dan lentur sehingga dapat dibentuk dengan cara pengisapan atau penekanan ke rongga cetakan. Kelebihan dari proses *thermoforming* ini adalah proses produksinya yang cepat tanpa menurunkan kualitas produk akhirnya. Selain itu, *thermoforming* telah dikenal sebagai salah satu proses pengolahan plastik yang menawarkan biaya relatif rendah. Proses *thermoforming* memiliki salah satu metode yang disebut *vacuum forming*.

Pada proses *vacuum forming* terdapat parameter yang dapat mempengaruhi kualitas hasil akhir produk yaitu, jenis material plastik yang digunakan, ketebalan material plastik yang digunakan, temperatur pada saat pemanasan material plastik, waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan, dan tekanan *vacuum* yang

digunakan. Penelitian yang didasarkan pada parameter ini maka dibuatlah batasan agar penelitian ini tidak melenceng dari topik yang telah dibuat.

B. Kajian Pustaka

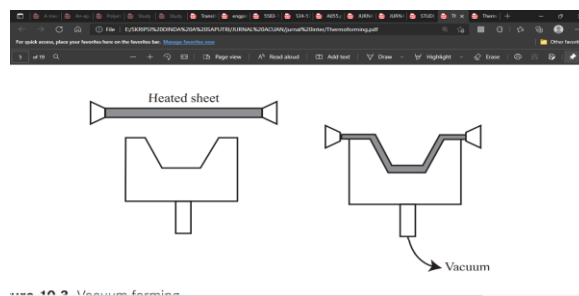
Pada penelitian yang dilakukan Abdul Ghani ^[1] tentang Mampu Bentuk Plastik Pada Proses *Vacuum Forming* Dengan Variasi Tekanan 0.979 bar, 0.959 bar, 0.929 bar, 0.909 bar Pada Temperatur 200°C. Pada penelitian ini digunakan lembaran *polyethylene terephthalate* (PET) berukuran 30 cm x 34 cm dengan ketebalan 0.25 mm dan 0.35 mm. Untuk temperatur pemanasan diatur pada temperatur 200°C secara konstan. Pada tekanan vakum digunakan empat variasi tekanan vakum yaitu sebesar 0.979 bar, 0.959 bar, 0.929 bar, dan 0.909 bar. Dalam penelitian ini diperoleh hasil sebagai berikut, untuk tekanan vakum terbaik dalam mencetak plastik dengan ketebalan 0.25 mm adalah 0.909 bar dan untuk tekanan vakum terbaik dalam mencetak plastik dengan ketebalan 0.35 mm adalah 0.909 bar.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Arga Dali Pratama ^[2] tentang Analisa Pengaruh Variasi Tekanan dan Temperatur Terhadap Penyimpangan Volume Pembentukan *Polyethylene Terephthalate* pada Proses *Vacuum Forming* dengan Metode Taguchi. Penelitian ini menggunakan material *polyethylene terephthalate* berukuran 50 cm x 50cm. Variasi variabel dari penelitian ini yaitu tekanan, temperatur dan ketebalan. Penelitian ini menghasilkan nilai penyimpangan terkecil yang berada pada variasi ketebalan material 0.5 mm, temperatur 50°C dan tekanan -1.5 cmHg. Nilai penyimpangannya yaitu 40.03 mm dari nilai dimensi *molding* yang seharusnya sebesar 40.00 mm. *Persentase* penyimpangan terhadap *molding* sebesar 0.0075%.

C. Landasan Teori

Vacuum Forming

Vacuum forming merupakan proses manufaktur yang digunakan untuk membentuk material plastik. Saat dilakukan proses *vacuum forming*, lembaran plastik akan dipanaskan lalu diisap ke dalam rongga cetakan. Jangkauan dari *vacuum forming* sangat luas pada proses manufaktur, dimulai dari produksi *custom* untuk komponen kecil dari perangkat desktop hingga komponen besar yang diproduksi untuk mesin industri otomatis. *Vacuum forming* merupakan salah satu jenis dari proses *thermoforming* yang sederhana. *Thermoforming* merupakan proses yang pertama kali digunakan pada industri plastik untuk membentuk lembaran selulosan nitrat pada pertengahan tahun 1800 ^[3].



Gambar 1. Proses *vacuum forming*

Dalam *vacuum forming*, kekuatan pembentuk utama adalah tekanan udara dikarenakan adanya tekanan atmosfer normal pada satu sisi dari lembaran plastik dan dekat dengan vakum di sisi lainnya ^[4]. *Vacuum forming* banyak digunakan untuk proses manufaktur dikarenakan harganya yang lebih terjangkau jika dibandingkan dengan proses manufaktur yang lain, seperti *plastic injection molding*. Selain itu, *vacuum forming* juga memberikan kebebasan pada desainer untuk menggunakan pilihan warna dan menyesuaikan dengan keinginan konsumen. Akan tetapi, pada proses *vacuum forming* sering terjadi kesalahan proses produksi yaitu *air-trapped* atau hasil cetakan memiliki gelembung udara. Hal ini dapat terjadi akibat dari ketidaksesuaian panas yang berlebihan, maka dari itu dibutuhkan secara manual kesesuaian panas dengan ketebalan *thermoplastic* ^[5].

Polyethylene Terephthalate

Polyethylene terephthalate dikenal dengan sebutan PET, PETE atau dengan kode identifikasi daur ulang bernomor 1. Material ini merupakan salah satu polimer *thermoplastic* yang banyak tersebar di pasaran. Umumnya sektor industri menggunakan *polyethylene terephthalate* untuk memproduksi botol atau kemasan untuk minuman, seperti air sebesar 26%, minuma bersoda sebesar 26%, atau minuman lainnya sebesar 18%, berbentuk lembaran atau film sebesar 14%, dalam industri makanan sebesar 9%, sedangkan dalam penggunaan industri selain makanan contohnya kosmetik sebesar 6% ^[6].

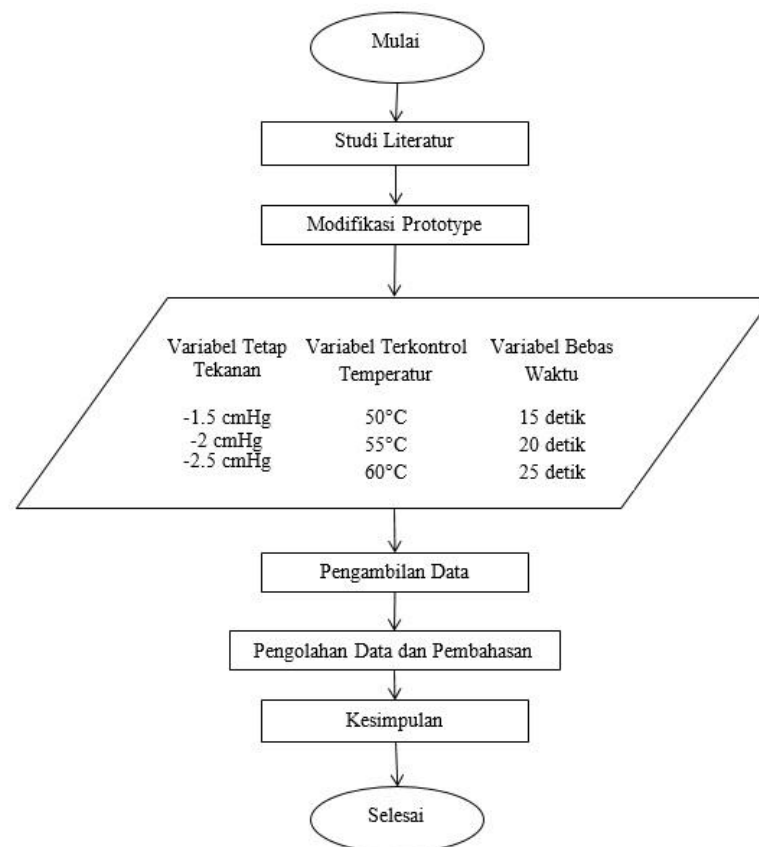
Polyethylene terephthalate (PET) ada dalam bentuk *amorphous* (transparan) dan *semi-crystalline* (tidak transparan dan putih). Secara umum memiliki ketahanan yang kuat terhadap *mineral oil*, pelarut dan asam tapi tidak terhadap basa. *Semi-crystalline* PET memiliki kekuatan, keuletan, kekakuan dan kekerasan yang baik sedangkan *amorphous* PET memiliki keuletan yang lebih baik. PET juga mempunyai kemampuan proses yang baik dan bisa didaur ulang untuk aplikasi yang lain ^[7].

Metode Taguchi

Dr. Genichi Taguchi merupakan konsultan manajemen mutu Jepang yang mengembangkan dan mempromosikan filosofi dan metodologi untuk melanjutkan pengembangan kualitas pada produk dan proses. Pendekatan yang dilakukan hanya fokus untuk mengeliminasi penyebab dari kualitas yang buruk dan membuat kinerja produk tidak sensitif terhadap variabilitas atau variabel penghambat ^[8].

Metode Taguchi merupakan sebuah usaha untuk meningkatkan kualitas atau mutu yang fokus pada peningkatan rancangan produk dan proses yang dilakukan. Dalam hal ini metode Taguchi telah menawarkan efisiensi eksperimen dengan jalan merekayasa kualitas. Resiko dari metode Taguchi ini adalah kesalahan pengambilan kesimpulan dikarenakan banyaknya jumlah eksperimen yang dipotong.

D. Diagram Alir



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Setelah menentukan topik dari penelitian ini, dilanjutkan dengan studi literatur. Tujuan dilakukan studi literatur adalah sebagai pendukung dari topik yang diteliti. Selanjutnya dilakukan modifikasi *prototype*. Modifikasi *prototype* dilakukan dengan mengubah beberapa bagian dari alat *vacuum forming*. Lalu dilakukan pengambilan data sesuai dengan variabel yang telah ditentukan. Apabila telah didapatkan data maka akan dilakukan pengolahan data dan pembahasan yang sesuai dengan hasil yang telah didapatkan sebelumnya. Selanjutnya, setelah melakukan pembahasan maka akan mendapat sebuah kesimpulan.

E. Konsep Rekonstruksi

Rekonstruksi dilakukan agar mendapatkan hasil produk yang lebih maksimal dari kinerja *prototype* sederhana yang telah dibuat. Berikut merupakan beberapa rekonstruksi yang telah dilakukan terhadap *prototype vacuum forming*.

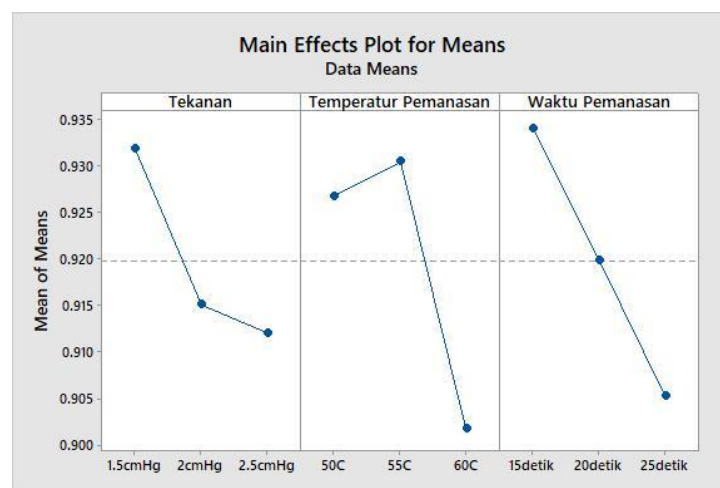
- Menambahkan *vacuum* pada bagian *vacuum chamber* sehingga menjadi *double vacuum* dengan daya total 1100 watt dengan tekanan maksimal mencapai 10 cmHg. Penambahan *vacuum* pada proses rekonstruksi agar proses pemvakuman pada material lebih maksimal dari *prototype* sebelum direkonstruksi yang tekanan vakumnya hanya mencapai maksimal 6 cmHg.
- Melakukan perubahan ukuran pada *vacuum chamber* yang sebelumnya berdimensi 450 x 450 x 100 mm menjadi 450 x 450 x 60 mm. Hal ini dilakukan agar ruang hampa udara pada area *vacuum chamber* menjadi lebih pendek atau tidak terlalu dalam sehingga akan lebih memberikan efek pemvakuman yang lebih cepat terhadap material.
- Merekonstruksi pada area *heater* menjadi elemen pemanas berdaya 1500 watt berjumlah tujuh buah. Hal ini dilakukan agar pemanasan pada material akan lebih optimal dibandingkan sebelumnya yang hanya menggunakan elemen pemanas berdaya 1000 watt dengan jumlah enam buah.

2. Pembahasan

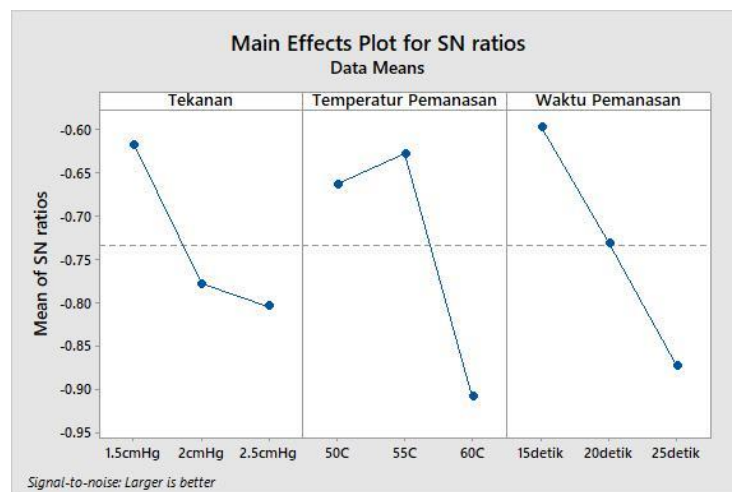
Tabel 1. Hasil Pengujian

No. Uji	Indeks Variabel			Uji 1 (%)	Uji 2 (%)	Uji 3 (%)	Rata-rata (%)
	Var. Tetap	Var. Terkontrol	Var. Bebas				
	Tekanan	Temperatur Pemanasan	Waktu Pemanasan				
1	1.5 cmHg	50°C	15 detik	91.90%	92.00%	92.35%	92.08%
2	1.5 cmHg	50°C	20 detik	92.40%	92.15%	92.40%	92.32%
3	1.5 cmHg	50°C	25 detik	87.60%	89.35%	87.65%	88.20%
4	1.5 cmHg	55°C	15 detik	96.25%	95.35%	95.45%	95.68%
5	1.5 cmHg	55°C	20 detik	91.30%	91.40%	91.45%	91.38%
6	1.5 cmHg	55°C	25 detik	91.10%	90.95%	91.15%	91.07%
7	1.5 cmHg	60°C	15 detik	96.85%	95.25%	96.45%	96.18%
8	1.5 cmHg	60°C	20 detik	96.55%	96.00%	96.40%	96.32%
9	1.5 cmHg	60°C	25 detik	95.80%	95.50%	95.05%	95.45%
10	2 cmHg	50°C	15 detik	94.50%	93.50%	92.70%	93.57%
11	2 cmHg	50°C	20 detik	94.35%	93.45%	93.50%	93.77%
12	2 cmHg	50°C	25 detik	94.80%	93.30%	94.25%	94.12%
13	2 cmHg	55°C	15 detik	93.35%	93.60%	94.20%	93.72%
14	2 cmHg	55°C	20 detik	95.15%	94.95%	95.65%	95.25%
15	2 cmHg	55°C	25 detik	91.80%	92.10%	91.70%	91.87%
16	2 cmHg	60°C	15 detik	92.10%	90.20%	90.95%	91.08%

17	2 cmHg	60°C	20 detik	87.45%	88.20%	87.50%	87.72%
18	2 cmHg	60°C	25 detik	82.75%	83.45%	81.45%	82.55%
19	2.5 cmHg	50°C	15 detik	92.25%	94.45%	93.50%	93.40%
20	2.5 cmHg	50°C	20 detik	92.15%	93.40%	93.50%	93.02%
21	2.5 cmHg	50°C	25 detik	94.80%	92.90%	93.15%	93.62%
22	2.5 cmHg	55°C	15 detik	95.65%	94.60%	95.80%	95.35%
23	2.5 cmHg	55°C	20 detik	91.65%	91.70%	91.60%	91.65%
24	2.5 cmHg	55°C	25 detik	91.80%	91.60%	91.10%	91.50%
25	2.5 cmHg	60°C	15 detik	88.55%	89.85%	90.15%	89.52%
26	2.5 cmHg	60°C	20 detik	87.65%	85.65%	86.05%	86.45%
27	2.5 cmHg	60°C	25 detik	87.20%	86.10%	85.90%	86.40%



Gambar 3. Grafik taguchi *main effect plot for means*



Gambar 4. Grafik taguchi *main effect plot for SN ratios*

Berdasarkan grafik SN ratio di atas, variabel dengan karakteristik “*larger is better*” adalah variabel dengan variasi tekanan 1.5 cmHg hal ini juga didukung oleh nilai rata-rata tertinggi sebesar 0.9319. Hal ini dikarenakan terjadinya penurunan kualitas produk yang disebabkan oleh proses pemanasan produk sehingga berdampak pada proses pemvakuman. Variabel dengan variasi temperatur tertinggi adalah temperatur 55°C yang mendapatkan rata-rata sebesar 0.9305. Hal ini dikarenakan pada temperatur 50°C, lembaran plastik *polyethylene terephthalate* belum mendapatkan pemanasan yang merata sehingga pemvakuman tidak terjadi dengan maksimal sedangkan pada temperatur 60°C pada penelitian ini

menyebabkan lembaran *polyethylene terephthalate* terdapat bercak putih yang dapat disimpulkan berasal dari ketidak sesuaian panas yang berlebih. Oleh sebab itu dibutuhkan melakukan kesesuaian panas secara manual^[5]. Pada variabel dengan variasi waktu pemanasan 15 detik adalah variabel tertinggi pada SN ratio yang juga mendapatkan nilai rata-rata tertinggi sebesar 0.9340. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu pemanasan yang dibutuhkan maka menyebabkan semakin meningkatnya temperatur yang diterima oleh lembaran *polyethylene terephthalate*. Peningkatan temperatur juga mengakibatkan lembaran *polyethylene terephthalate* menjadi berwarna putih (*cloudy*), penurunan pada transparansi menyebabkan peningkatan dalam penyebaran dan penyerapan pendaran (*luminescence*) pada bahan uji.^[9]

3. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap pengaruh variasi tekanan, variasi temperatur, dan variasi waktu pemanasan terhadap kualitas hasil *polyethylene terephthalate* pada proses *vacuum forming* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil penelitian yang memenuhi karakteristik uji taguchi *larger is better* yaitu tekanan 1.5 cmHg, temperatur 55°C dan waktu pemanasan 15 detik.
- Penentuan kualitas hasil dapat dipengaruhi oleh jenis material, ketebalan material, waktu pemanasan, temperatur dan tekanan. Hal ini dikarenakan variabel tersebut saling berkaitan dalam menentukan suatu kualitas produk.
- Diperlukan riset lebih lanjut dalam pemilihan waktu pemanasan dan temperatur yang sesuai dengan ketebalan material yang digunakan. Hal ini dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas produk agar lebih optimal.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada bapak Dr. I Komang Astana Widi, ST., MT. selaku Kaprodi Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang atas kesempatan yang telah diberikan.

Terima kasih kepada bapak Febi Rahmadiano, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membantu memberi masukan pada penelitian ini dari awal hingga selesai.

Terima kasih kepada teman-teman mahasiswa Prodi Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang atas dukungan dan saran yang telah diberikan selama penulis melakukan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1.] Abdul Ghani K, Yohana E, Wibowo DB. 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. J Tek Mesin S-1 Univ Diponegoro. 2014;2(2):120–8.
- [2.] Pratama AD. Analisa Pengaruh Variasi Tekanan dan Temperatur Terhadap Penyimpangan Volume Pembentukan Polyethylene Terephthalate pada Proses Vacuum Forming dengan Metode Taguchi. Skripsi Tidak Diterbitkan. 2022;
- [3.] Munandar DA, Haidi F. Rancang Bangun Mesin Vacuum Forming. Semin Nas Tek Mesin Politek Negeri Jakarta. 2018;484–93.
- [4.] Selke SEM, Culter JD. *Plastics Packaging Third Edition*. Munich: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. 2013. 271 p.
- [5.] Cahyadi D, Lanta L. LL. Studi Rekayasa Teknis Molding Metode Vacuum Forming Untuk Aplikasi Pada Perancangan Alat Pembuat Kemasan. TANRA J Desain Komun Vis Fak Seni dan Desain Univ Negeri Makassar. 2018;5(2):9.
- [6.] Nisticò R. Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry. *Polym Test*. 2020;90(April).
- [7.] Li-Na J. Study on preparation process and properties of polyethylene terephthalate (pet). *Appl Mech Mater*. 2013;312:406–10.
- [8.] Antony J, Jiju Antony F. Teaching the Taguchi method to industrial engineers. *Work Study*. 2001;50(4):141–9.
- [9.] Ito, Yutaka. Transition Properties of PET Observed by CL and PALS. *Radiation Physics and Chemistry*. 2002;64(5-6):375-379.