

## Optimasi Penerapan Teknologi Ekstrusi pada Prototipe Mesin Daur Ulang Limbah Styrofoam

\*Ali Mahmudi<sup>a</sup>, Petrus Londa<sup>b</sup>

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung  
Jl. Geger Kalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung 40012, Telp. (022) 2013789.

\*E-mail: [amahmudi58@yahoo.com](mailto:amahmudi58@yahoo.com)

### Abstrak

*Styrofoam* termasuk salah satu bahan limbah berbahaya dan sangat banyak digunakan sebagai bahan kemasan produk. *World Health Organization* (WHO), *International Agency for Research on Cancer* (IARC), dan *Environmental Protection Agency* (EPA) mengkategorikan *styrofoam* sebagai bahan karsinogen (bahan penyebab kanker). Proses pembuatan *styrofoam* menghasilkan 57 zat berbahaya ke udara. Keterbatasan kemampuan mesin pengolah limbah *styrofoam* menjadi salah satu penyebab kurangnya pemanfaatan *styrofoam* bekas. Oleh karena itu perlu suatu usaha untuk membuat mesin yang dapat membantu mengatasi permasalahan yang muncul dari aktivitas pengolahan limbah *styrofoam*. Mesin ini dapat mengolah limbah *styrofoam* menjadi bahan baku produk berbahan plastik. Dalam penelitian ini telah dirancang dan dibuat prototipe mesin pengolah limbah *styrofoam* dengan metode ekstrusi dan dengan melakukan optimasi variabel antara temperatur pemanasan dan kecepatan aliran *styrofoam* pada ekstruder terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Untuk menghasilkan kualitas produk yang memadai yaitu berwarna putih dan padat pada kondisi optimal berada pada kisaran temperatur 110°C -120°C dengan kecepatan aliran 2,7 – 3,6 m/menit.

**Kata kunci:** ekstrusi, prototipe mesin pengolah limbah, *styrofoam*.

## 1. Pendahuluan

### 1.1. *Styrofoam*

*Styrofoam* banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari antara lain digunakan untuk bahan kemasan, dekorasi, maket bangunan dan tempat makanan siap saji. Pemanfaatan *styrofoam* yang luas menjadi permasalahan bagi pencemaran lingkungan. *Styrofoam* yang dimanfaatkan dalam kegiatan sehari-hari menyebabkan menumpuknya limbah, seperti yang diperlihatkan dalam gambar 1 berikut ini.



**Gambar 1.** Tumpukan Limbah *Styrofoam*.

*Styrofoam* atau plastik busa masih tergolong keluarga plastik. Bahan dasar *styrofoam* adalah *polisterin*, suatu jenis plastik yang sangat ringan, kaku, tembus cahaya dan murah tetapi rapuh. Karena kelemahannya tersebut, *polisterin* dicampur dengan seng dan senyawa *butadien*. Hal ini menyebabkan *polisterin* kehilangan sifat jernihnya dan berubah warna menjadi putih susu. Kemudian untuk kelenturannya, ditambahkan zat *plas-ticizer* seperti *dioktil ptalat* (DOP), *butyl hidroksi toluena* atau *butyl stearat*. Plastik busa yang mudah terurai menjadi struktur sel kecil merupakan hasil proses peniupan dengan menggunakan gas *Clorofluoro carbon* (CFC). Hasilnya adalah bentuk seperti yang sering dipergunakan saat ini. Karakteristik *styrofoam* seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 1 [1].

**Tabel 1.** Karakteristik *Styrofoam*.

No.	Karakteristik	Keterangan
1.	Density, $\rho_{eps}$	1,05 [gr/cm <sup>3</sup> ]
2.	Dielectric constant	2,4 – 2,7 [-]
3.	Electric conductivity, $s$	10 <sup>-16</sup> [S/m]
4.	Thermal conductivity, $k$	0,036 [W/mK]
5.	Young modulus, $E$	3000 – 3600 [MPa]
6.	Tensile Strength, $S_f$	46 – 60 [MPa]
7.	Specific heat, $C_p$	1,3 [kJ/kgK]
8.	Elongation	3 -4 [%]
9.	Glass temperature transition	95 [°C]
10.	Melting point	240 [°C]
11.	Water absorbtion	0,03 – 0,1 [-]
12.	Notch test	2 [kJ/m <sup>2</sup> ]
13.	Linear Ekspansion Coefisien	8 x 10 <sup>-5</sup> [-]

Menurut EPA limbah *styrofoam* sulit terurai secara alami dan jika dalam penanganannya tidak baik, maka akan menghasilkan 57 zat berbahaya ke udara. Penanganan limbah *styrofoam* selama ini dilakukan dengan cara penggunaan kembali tanpa melalui modifikasi, pembakaran, dan ditimbun dalam tanah. Cara-cara tersebut merupakan metode konvensional yang tidak ramah lingkungan. Pengembangan mesin pengolah *styrofoam* sudah pernah dilakukan sebelumnya. Terdapat dua metode pengembangan yang pernah dilakukan sebelumnya, yaitu dengan metode pemanasan menggunakan sabuk pemanas dan metode peleburan dengan bahan bakar gas [1]. Kedua metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pengolahan *styrofoam* yang menggunakan metode sabuk pemanas memiliki hasil keluaran yang belum sempurna, hal ini dikarenakan suhu pemanasan yang dicapai oleh sabuk pemanas tidak sesuai dengan yang diharapkan, juga karena kurangnya gaya penekanan di dalam tabung pemanas sehingga hanya beberapa bagian yang mencair. Keuntungan dari menggunakan metode ini, adalah panas yang dihasilkan tidak terjadi radiasi keluar. Untuk metode pengolahan *styrofoam* dengan peleburan menggunakan bahan bakar gas, kekurangannya adalah suhu peleburan yang sulit di kontrol dan lubang hasil keluaran yang terlalu besar, sehingga ada bagian *styrofoam* yang belum mencair ikut masuk ke dalam cetakan. Namun mesin peleburan *styrofoam* jenis ini telah dilengkapi dengan *blower* dan *absorber*, sehingga asap hasil peleburan *styrofoam* akan disaring oleh *blower* dan *absorber*.

Berdasarkan pada paparan tersebut di atas, upaya-upaya lanjutan dalam pengolahan limbah *styrofoam* yang lebih baik masih perlu dikembangkan, sehingga permasalahan lingkungan yang timbul dapat teratasi. Dalam penelitian ini dirancang mesin pengolah limbah *styrofoam* dengan metode ekstrusi, mesin ini dapat mengolah limbah *styrofoam* menjadi bahan baku produk berbahan plastik untuk kapasitas kecil. Secara umum ekstrusi pada termoplastik adalah suatu proses pembentukan material dengan cara di panaskan hingga mencapai titik leleh dan melebur akibat panas dari luar atau akibat panas gesekan yang kemudian dialirkan ke cetakan oleh *screw* untuk menghasilkan material dengan bentuk penampang sesuai dengan bentuk lubang cetakan (*die*). Proses ekstrusi adalah proses *continue* yang menghasilkan beberapa produk seperti, *film* plastik, tali rafia, pipa, *pelet*, lembaran plastik, *fiber*, *filamen*, selubung kabel, dan beberapa produk lainnya.

## 1.2. Mesin ekstrusi

Mesin ekstrusi memiliki banyak jenis ukuran, bentuk dan metode pengoperasian. Ada mesin ekstrusi yang dioperasikan secara hidrolik dimana pada mesin ini piston berperan untuk mendorong adonan melalui lubang pencetak (*die*) yang terletak pada ujung ekstruder. Terdapat pula mesin ekstrusi tipe roda, dimana bahan adonan didorong keluar atas hasil kerja dua roda yang saling berputar. Kemudian yang telah banyak dikenal saat ini ialah mesin ekstrusi tipe ulir (*screw*) dimana putaran ulir akan mendorong bahan adonan keluar melalui *die* [2]. *Screw* mengalirkan bahan yang telah meleleh ke ujung ekstruder yang telah dipasang *die*, setelah mengalami proses pencampuran yang homogen pada lelehan bahan tersebut. Pada ekstruder terdapat dua jenis ulir, yaitu ulir tunggal (*single Screw extruder/SSE*) dan ulir ganda (*twin Screw extruder/TSE*) [3]. Kecepatan aliran adonan dapat di hitung dengan persamaan [4]:

$$V = n.p \quad (1)$$

dimana:

V = Kecepatan aliran [m/menit].

n = Jumlah putaran [Rpm].

p = Kisar ulir [mm].

## 1.3. Elemen pemanas

Elemen pemanas adalah sebuah bahan yang bisa menghasilkan panas dari proses konversi energi listrik menjadi energi panas. Panas yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai hambatan listrik. Jika hambatan listrik

makin besar, maka panas yang dihasilkan makin besar pula, begitu pun sebaliknya. Salah satu luaran yang diharapkan dari pemilihan alat ini yaitu bahwa alat ini bisa meredam radiasi yang terjadi akibat panas yang di timbulkan [5]. Hubungan antara panas yang dihasilkan dengan energi listrik dapat di hitung dengan persamaan:

$$W = I^2 \cdot R \cdot t \tag{2}$$

dimana:

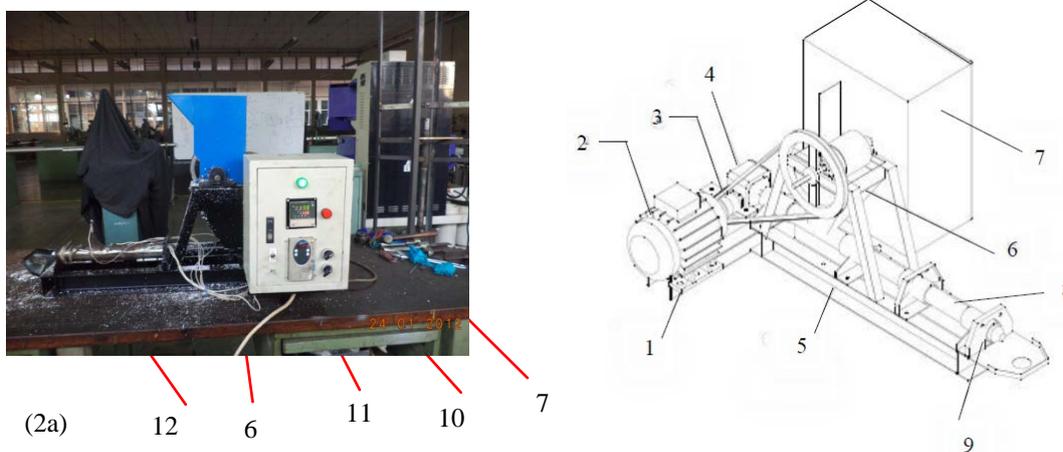
- W = Energi listrik [*Joule*].
- I = Arus listrik [*Ampere*].
- R = Hambatan listrik [*ohm*].
- T = Waktu [*secon*].

## 2. Material dan metode

### 2.1. Metode Ekstrusi

Mesin ekstrusi seperti yang dipelihatkan dalam gambar 2a dan tampak *isometric* pada gambar 2b memiliki pasangan *screw* (*single screw*) dan lubang *screw* yang berfungsi untuk mengalirkan *styrofoam* ke lubang pencetak (*die*). Pasangan tersebut dinamakan ekstruder. Panjang *screw* 920 mm dan diameter luar 45 mm, lubang *screw* berbentuk *barrel* dari bahan *stainless steel seamless* dengan diameter dalam 48 mm, tebal 4 mm dan panjang 725 mm. *Die* terletak pada ujung ekstruder dengan lubang pengeluaran berbentuk silinder dan tirus di dalam (sebesar 50°). Diameter lubang ujung *die* tersebut yaitu 14,5 mm. Putaran *screw* diatur melalui roda gigi perantara, dengan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) atau yang biasa disebut inverter [6], sehingga jumlah putaran *screw* dapat diatur. Pada ujung ekstruder dan *die* dipasang elemen pemanas berjenis *band heater* dengan daya *heater* 500 W sepanjang 100 mm dan temperaturnya dapat diatur mulai dari 0°C – 500°C melalui *thermo couple*, temperatur ini digunakan untuk melelehkan *styrofoam* sebelum ditekan ke lubang pencetak. Secara keseluruhan bagian-bagian dari mesin ekstrusi ini dapat di jelaskan sebagai berikut:

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 1. Dudukan motor.                                  | 7. Kotak kelistrikan.      |
| 2. Motor listrik (AC 3 fasa, 1 hp).                | 8. Ekstruder.              |
| 3. Kopling.  | 9. <i>Die</i>              |
| 4. Kotak roda gigi perantara.                      | 10. <i>Thermo couple</i> . |
| 5. Dudukan ekstruder.                              | 11. VFD.                   |
| 6. Saluran masuk dan penghancur <i>styrofoam</i> . | 12. Elemen pemanas.        |



Gambar 2. Mesin Ekstrusi.

### 2.2. Rancangan penelitian

Penelitian diawali dengan mengatur temperatur pemanasan *styrofoam* dan mengatur frekuensi pada VFD untuk mencapai putaran yang diinginkan pada kecepatan tertentu. Untuk memastikan jumlah putaran maka digunakan alat ukur putaran *stroboscop* dengan kapasitas sampai 1000 rpm. Selanjutnya *styrofoam* dimasukan dalam bentuk potongan-potongan dengan ukuran kira-kira 5 mm x 5 mm x 5 mm (ukuran acak) melalui saluran masuk dan kemudian langsung dihancurkan menjadi potongan-potongan yang lebih kecil lagi. Selanjutnya *styrofoam* dialirkan melalui ekstruder sampai ke *die* yang ada pada ujung ekstruder. Pada ujung ekstruder dan *die* terdapat elemen pemanas. Putaran *screw* dan temperatur elemen pemanas merupakan variable yang di ditetapkan dengan variasi sebagai berikut:

1. Temperatur [°C] : 100; 110; 120; 130; 140; 150; 160; 170; 180.

2. Jumlah putaran [Rpm] : 30; 60; 90; 120; 150; 180.

sedangkan variable yang diamati adalah warna produk dan kepadatan produk. Warna produk dibandingkan dengan warna standar dan kepadatan produk dibedakan dengan berat yang di ukur dengan timbangan digital berkapasitas 300 gram dengan ketelitian 0,01 gram.

**3. Hasil dan pembahasan**

*Styrofoam* mempunyai sifat kalor jenis yang relatif rendah sehingga mudah terpanasi. Semakin tinggi temperatur pemanasan atau mendekati batas titik leleh *styrofoam* menghasilkan produk yang berwarna coklat gelap, kehitaman. Sebaliknya bila kecepatan aliran *styrofoam* yang rendah juga akan menghasilkan produk yang berwarna coklat gelap kehitaman. Oleh karena itu perlu ada kesesuaian antara variabel temperatur pemanasan dan kecepatan aliran *styrofoam* untuk menghasilkan produk yang standar yang berupa padatan berwarna putih. Semakin tinggi temperatur pemanasan atau mendekati batas titik leleh *styrofoam* laju aliran peleburannya lebih cepat, namun produk yang dihasilkan menjadi hitam karena terlalu panas. Kecepatan aliran juga dipengaruhi ukuran dari cacahan *styrofoam* yang dilumatkan. Semakin kecil ukuran *styrofoam* yang dilumatkan, semakin cepat pula laju alirannya.

Data pada gambar 3 menunjukkan bahwa kualitas hasil produk mesin prototipe pengolah limbah *styrofoam* terlihat umumnya berwarna coklat gelap kehitaman bila pemanasan pada temperatur yang lebih tinggi (di atas 140 °C) dan pada kecepatan aliran yang rendah atau lambat (V = 0,09 sampai 1,8 m/menit). Sedangkan pada temperatur pemanasan antara 110 °C sampai dengan 130 °C menunjukkan warna putih.

Untuk menghasilkan kualitas produk yang memadai berwarna putih dan padat pada kondisi optimal berada pada kisaran temperatur 110°C - 120°C dan dengan kecepatan 2,7 m/menit - 3,6 m/menit. Pada kecepatan aliran yang lebih tinggi meskipun dihasilkan kualitas produk dengan warna putih namun kepadatannya berkurang. Pada temperatur 130°C dan pada beberapa variasi kecepatan menghasilkan produk yang padat berwarna putih kegelapan. Sedangkan pada temperatur pemanasan 140 °C atau lebih tinggi selalu menghasilkan produk padat tapi berwarna coklat kehitaman.

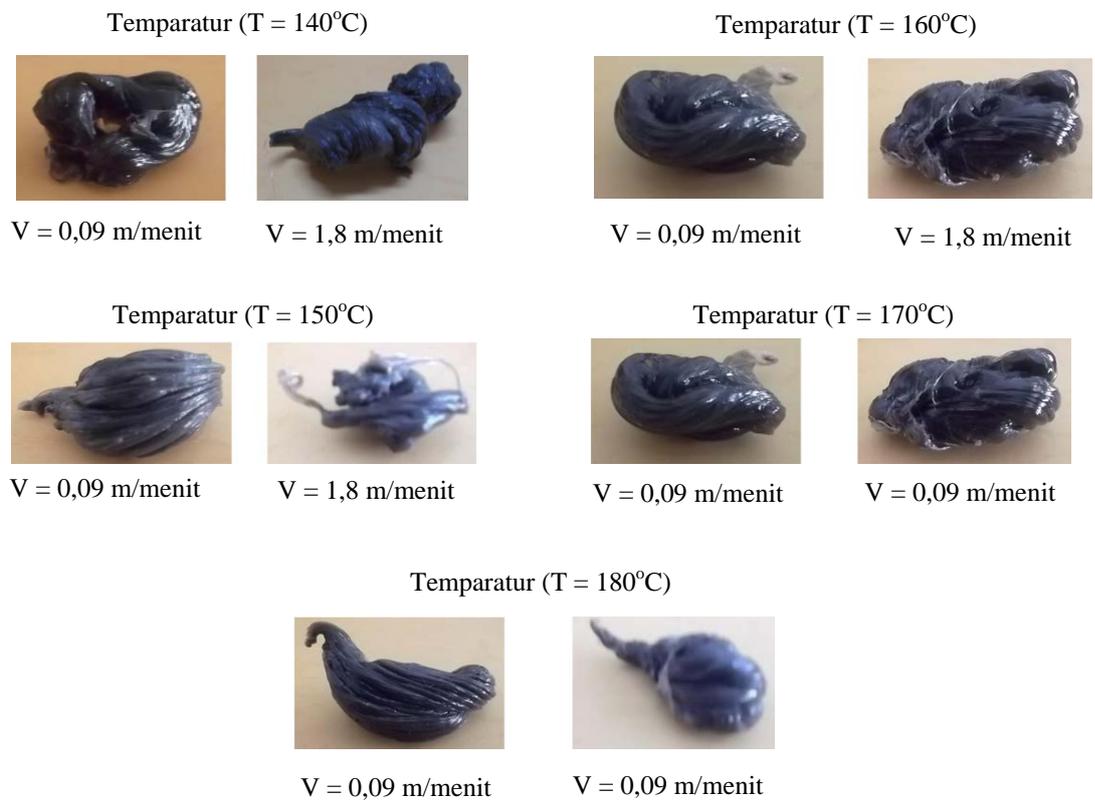
Temperatur [°C]	180	T B2 D 75%	T B2 D 75%					
	170	T B2 D 75%	T B2 D 75%					
	160	T B2 D 75%	T B2 D 75%					
	150	T B2 D 75%	T B2 D 75%					
	140	T B2 D 75%	T B2 D 75%					
	130		Putih gelap					
			W B1 D 35%					
	120		Putih gelap	Putih	Putih	Putih k p	Putih k p	Putih k p
			W B1 D 35%	W, B1, D 5%	W, B1, D 5%	W,B1	W,B1	W,B1
	110		Putih gelap	Putih	Putih	Putih k p	Putih k p	Putih k p
			W B1 D 35%	W, B1, D 5%	W, B1, D 5%	W,B1	W,B1	W,B1
	100							
		0,09	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	
		<b>Kecepatan, V[m/menit]</b>						
		30	60	90	120	150	180	
		<b>Putaran, n[rpm]</b>						

Gambar 3. Pemetaan Kualitas Produk.

Keterangan warna produk:

- T B2 D 75% : Tan, Background 2, Darker 75% (Coklat gelap).
- W B1 D 35% : White, Background 1, Darker 35% (Putih agak gelap).
- W, B1, D 5% : White, Background 1, Darker 5% (Putih).
- W, B1 : White, Background 1 (Putih).
- Putih k p : Putih tapi kurang padat.

Eksperimen yang dilakukan pada mesin prototipe pengolah limbah styrofoam menghasilkan produk-produk dengan variasi warna produk, dengan temperatur dan kecepatan alir yang berbeda, seperti yang di tunjukan dalam gambar 4 berikut ini:



**Gambar 4.** Produk Hasil Pengujian pada Temperatur 140°C – 180°C.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan pada mesin prototipe pengolah limbah styrofoam, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Styrofoam mempunyai sifat massa jenis dan kalor jenis yang relatif rendah sehingga mudah terpanasi. Semakin tinggi suhu pemanasan atau mendekati batas titik leleh styrofoam menghasilkan produk yang hangus, terlihat hasil yang berwarna gelap kehitaman.
- b. Sebaliknya bila kecepatan aliran styrofoam yang rendah juga akan menghasilkan produk yang hangus. Oleh karena itu perlu ada kesesuaian antara temperatur pemanasan dan kecepatan aliran styrofoam untuk menghasilkan produk yang standar yang berupa padatan berwarna putih.
- c. Hasil pengujian dengan mesin prototipe pengolah limbah styrofoam dengan varibel temperatur pemanasan dan kecepatan aliran styrofoam menghasilkan kualitas produk yang memadai berwarna putih dan padat pada kondisi optimal berada pada kisaran temperatur 110°C - 120°C dengan kecepatan aliran styrofoam berkisar antara 2,7 m/menit - 3,6 m/menit.

#### Referensi

- [1] Rosidin, "Plus Minus Styrofoam," <http://www.pantonanews.com>, diakses: 18 Mei 2012.
- [2] John Willey, 1985, "Encyclopedia of Polymer Science and engineering," 1985, 2<sup>nd</sup> Ed., New York.
- [3] Dody, Ryo, 2010, "Pembentukan Plastik dan Material Komposit," Universitas Negeri Jakarta, Jakarta.
- [4] Kilgus, Roland, dkk., 1992, "Tabellenbuch Metall," Lehrmittel, Europa.
- [5] Frank P., dkk., 1996, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer," Fourth Edition, United State of America, John Wiley and Sons, Inc.
- [6] Londa Petrus, dkk., 2013, "Rancang Bangun Alat Uji Running-in untuk Sistem Kontak Two-Disc", *Rotasi, Jurnal Teknik Mesin*, ISSN: 1411-027X Vol 15 No.2, 24 – 30.