

Analisis Kualitas Produk dan Efisiensi Energi Antara Mesin Daur Ulang Limbah Plastik Pemanas *Band Heater* dan Induksi

Almira Luthfiyah¹, Theresia Evila Purwanti Sri Rahayu^{2*}, Sheptia Whiting Hayati³, Saipul Bahri⁴,
Mohammad Nurhilal⁵

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap

⁵Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

^{1,2,3,4,5}Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

E-mail: almirays123@gmail.com¹, theresiaevila@pnc.ac.id², sheptiawhitinghayati@gmail.com³,
saipultekim2010@gmail.com⁴, mohammadnurhilal76@pnc.ac.id⁵

Abstrak

Info Naskah:

Naskah masuk: 31 Mei 2024

Direvisi: 27 Juni 2024

Diterima: 8 Juli 2024

Proses pelelehan (ekstrusi) memegang peranan kunci dalam proses daur ulang sampah plastik menjadi biji plastik. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan proses daur ulang sampah plastik jenis PET antara pemanas induksi dengan pemanas band heater. Parameter analisis perbandingan yaitu dari kualitas dari biji plastik yang diteliti meliputi kadar air, logam kadmium (Cd), dan timbal (Pb) berdasarkan SNI 8424:2017 serta efisiensi energi mesin dilihat dari konsumsi energi listrik serta kecepatan produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air, kandungan logam kadmium, dan kandungan logam timbal biji plastik dari proses daur ulang dengan mesin pemanas induksi yakni sebesar 0,33%, 0,00049 ppm dan 0,0633 masih jauh dibawah batas maksimum baku mutu walaupun kadar airnya lebih tinggi dibandingkan biji plastik yang dihasilkan mesin band heater. Tingkat konsumsi energi listrik dari mesin berpemanas induksi jauh lebih rendah dengan kecepatan produksi yang lebih besar dibandingkan dengan mesin berpemanas *band heater* yakni sebesar 0,0849 kWh dan 0,099 kilogram per jam.

Abstract

Keywords:

plastic seed;
water content;
cadmium;
lead;
energy efficiency.

The melting process (extrusion) plays a key role in the recycling process of plastic waste into plastic pellets. This study aims to compare the recycling process of PET plastic waste between induction heating and band heater heating. The comparative analysis parameters are from the quality of the plastic pellets studied including water content, cadmium (Cd), and lead (Pb) based on SNI 8424:2017 and machine energy efficiency seen from electricity consumption and production speed. The results showed that the water content, cadmium metal content, and lead metal content of plastic pellets from the recycling process with an induction heating machine, namely 0.33%, 0.00049 ppm and 0.0633, were still far below the maximum quality standard limit even though the water content was higher than the plastic pellets produced by the band heater machine. The level of electricity consumption from the induction-heated machine was much lower with a higher production speed compared to the band heater-heated machine, namely 0.0849 kWh and 0.099 Kilogram Per Hour.

*Penulis korespondensi:

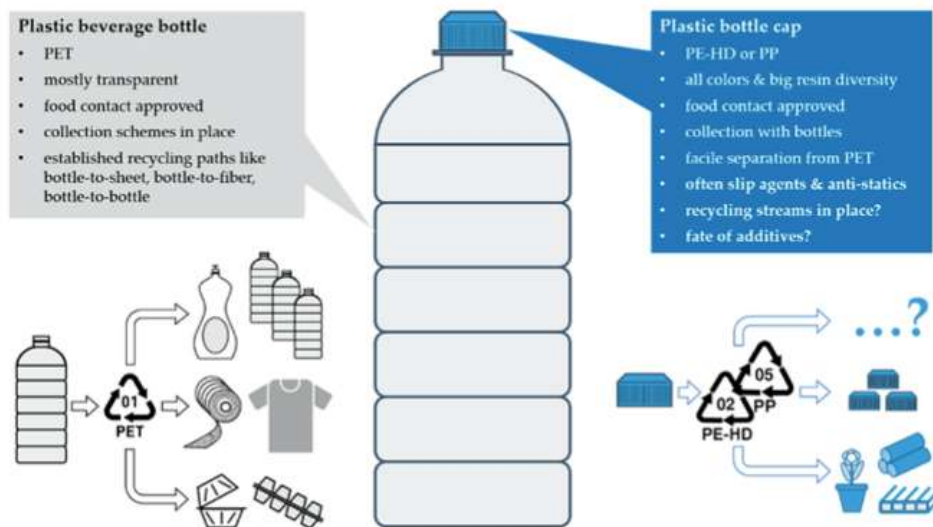
Theresia Evila Purwanti Sri Rahayu

E-mail: theresiaevila@pnc.ac.id

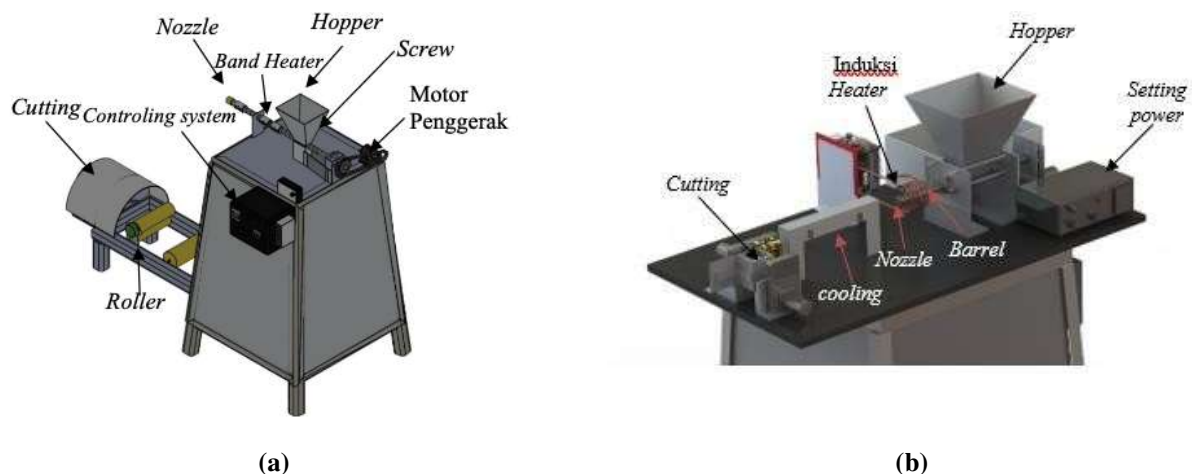
1. Pendahuluan

Sampah plastik merupakan salah satu jenis sampah anorganik yang bersifat *non-degradable* atau sulit untuk terurai secara alami di lingkungan. Hal itulah yang menyebabkan sampah plastik bersifat toksik terhadap lingkungan. Sampah plastik yang dibuang memerlukan waktu berkisar 200-400 tahun lamanya untuk dapat hancur atau terurai secara alami dan saat teruraipun sampah plastik tersebut dapat berpotensi mencemari tanah dan air tanah [1]. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), sampah yang dihasilkan oleh penduduk Indonesia mencapai 0,8 kg sampah per orang atau total 189 ribu ton sampah/hari dimana 15%-nya adalah sampah plastik dengan total 28,4 ton sampah plastik/hari [2]. Penggunaan plastik yang tidak diimbangi dengan pengelolaan lingkungan yang bijak dapat menimbulkan ancaman bagi lingkungan dan kesehatan, oleh karena itu pengelolaan yang tepat dari sampah plastik dengan penerapan teknologi pengolahan yang murah dan efisien sangat diperlukan untuk mengurangi jumlah limbah plastik di lingkungan [3].

Salah satu solusi untuk mengurangi jumlah limbah plastik di lingkungan yakni dengan daur ulang (*recycle*) plastik menjadi biji plastik yang dapat digunakan kembali untuk membuat berbagai macam barang. Biji plastik merupakan produk setengah jadi dari proses daur ulang limbah plastik sebagai bahan baku dalam pembuatan berbagai barang plastik [4]. Konsep *recycle* selain dapat mengurangi jumlah limbah plastik juga dapat menghasilkan produk yang memiliki nilai ekonomis. Kunci dari proses daur ulang plastik menjadi pelet biji plastik terletak pada pemanasan atau ekstrusi untuk mengubah dari bentuk padat menjadi cair. Kualitas pelet biji plastik daur ulang yang baik bergantung dengan bahan baku dan suhu yang digunakan dalam proses pembuatannya [4]. Penelitian yang dilakukan oleh Sumayya [5] dalam mendaur ulang limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) menggunakan mesin dengan *band heater* sebagai elemen pemanas pada bagian ekstruder mampu menghasilkan biji plastik dengan kadar air, kandungan cadmium, dan kandungan timbal yang telah memenuhi baku mutu SNI 8424:2017 tentang resin



Gambar 1. Bagian PET dan PP dari botol air mineral [6]



Gambar 2. Mesin daur ulang dengan modul pemanas *band heater* (a) dan pemanas induksi (b)

Polyethylene Terephthalate (PET) daur ulang, namun performa dan efisiensi energi mesin kurang memuaskan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa dan efisiensi mesin daur ulang yang dibuat oleh Sumayya [5] dengan menggunakan pemanas induksi sebagai pengganti pemanas *band heater* serta beberapa komponen lain yang menunjang kinerja mesin. Analisis performa, kualitas biji plastik, dan efisiensi energi mesin akan dikaji dan dibandingkan dengan hasil dari mesin penelitian Sumayya [5]. Sampah plastik yang akan diolah berjenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang berasal dari botol bekas air mineral, seperti pada Gambar 1.

Efisiensi energi yang dibandingkan dinyatakan dalam parameter kebutuhan energi dan kapasitas produksi, sedangkan karakteristik dari plastik PET yaitu warnanya jernih atau transparan, kuat, tahan lama, melunak pada 180 °C dan meleleh sempurna pada suhu 200°C [7]–[9]. Produk biji plastik daur ulang yang dihasilkan diuji kualitasnya berdasarkan parameter kadar air, kandungan logam kadmium (Cd) dan logam timbal (Pb) dengan mengacu pada baku mutu SNI 8424:2017 tentang resin PET daur ulang.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Proses rancang bangun mesin dilakukan dengan menggunakan alat-alat seperti meteran, tang, mesin bor, mesin gerinda, gunting, mesin las, martil, palu, dinamo dan *clamp* meter sedangkan bahan yang digunakan yakni modul pemanas, *roller*, pipa *stainless steel*, selang, *box* penampung air, mur, baut, *gear box*, siku aluminium dan *tube/belt* penghubung. Pembuatan biji plastik menggunakan bahan baku berupa botol plastik. Pengujian kualitas biji plastik daur ulang di Laboratorium Kualitas Lingkungan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

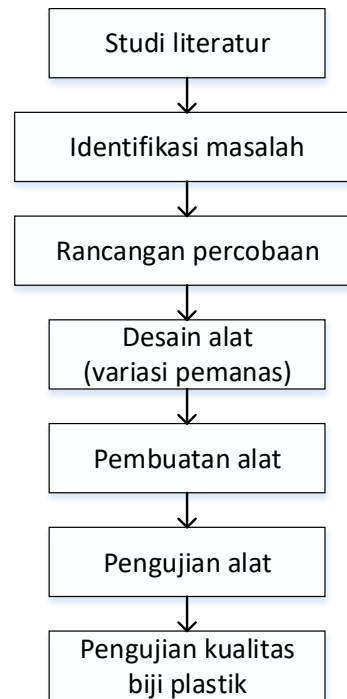
2.2 Tahapan penelitian

Tahap pertama dalam penelitian adalah melakukan studi literatur dilanjutkan dengan identifikasi masalah, rancangan percobaan, desain alat, pembuatan alat, pengujian alat, dan pengujian kualitas biji plastik seperti ditunjukkan dalam diagram (Gambar 3). Desain alat atau mesin pendaur ulang plastik ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengujian alat dilakukan dengan mengecek semua komponen utama berfungsi dengan baik meliputi *thermosetting hopper*, *screw*, elemen pemanas (modul induksi), *nozzle*, dan pemotong. Pengujian kualitas biji plastik mengacu kepada SNI 8424:2017 tentang resin *Polyethylene Terephthalate* (PET) daur ulang dengan parameter uji meliputi kandungan air, kandungan logam kadmium (Cd) dan timbal (Pb).

Pembuatan biji plastik PET (Gambar 4) diawali dengan proses pemotongan bahan baku botol bekas air mineral setelah proses pencucian menjadi potongan-potongan kecil agar mudah dilelehkan, potongan plastik kemudian dimasukkan ke dalam hopper untuk dibawa oleh *screw* menuju bagian pemanas. Plastik yang masuk ke bagian pemanas akan dilelehkan menjadi pasta yang selanjutnya didorong keluar melalui *nozzle* sehingga membentuk benang. Benang pasta selanjutnya ditarik menggunakan *roller* menuju bagian pemotong untuk dipotong menjadi biji

plastik. Selama proses penarikan, pasta plastik mengalami pendinginan oleh udara sehingga pasta akan mengeras dan mudah untuk dipotong.



Gambar 3. Diagram tahapan penelitian



Gambar 4. Biji Plastik PET

Uji kadar air dilakukan dengan metode termogravimetri berdasarkan SNI 8424:2017 dengan menggunakan alat oven vakum sedangkan pengujian logam kadmium (Cd) dan logam timbal (Pb) pada biji plastik PET dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Universitas Islam Indonesia dengan metode migrasi berdasarkan SNI 7741:2013 dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) atau *Induced Couple Plasma Spectrophotometer* (ICP-S).

Energi listrik, biaya listrik, dan efisiensi panas dihitung dengan persamaan (1):

$$W = P \times t \quad (1)$$

dengan W adalah energi listrik yang dikonsumsi (Joule atau Kwh), P adalah daya atau laju penggunaan energi listrik (Joule/sekon), dan t adalah waktu pengoperasian mesin, sehingga penurunan laju konsumsi listrik akan diikuti dengan penurunan biaya listrik.

$$\text{Biaya listrik} = W \text{ (Kwh)} \times \text{biaya/Kwh} \quad (2)$$

Perhitungan efisiensi energi dengan menggunakan persamaan (3).

$$\eta_{\text{energi}} = \frac{Q_{\text{output}}}{Q_{\text{input}}} \times 100\% \quad (3)$$

dengan η adalah efisiensi dan Q jumlah panas (Joule).

$$Q_{\text{input}} = Q_{\text{output}} + Q_{\text{loss}} \quad (4)$$

Penentuan Q_{input} , Q_{output} , dan Q_{loss} ditentukan berdasarkan neraca panas, dengan komponen-komponen neraca panas ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Komponen penyusun neraca panas

Bagian	Komponen	Persamaan
Input	$Q_{\text{in bahan}}$	$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (5)$
	$Q_{\text{in listrik}}$	$Q = W = V \cdot i \cdot t \quad (6)$
Extruder	$Q_{\text{out bahan}}$	$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T + m \cdot L \quad (7)$
Cutter	$Q_{\text{out bahan}}$	$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (8)$
	$Q_{\text{out konduksi}}$	$Q = \frac{k \cdot (\frac{1}{4} \pi \cdot d^2) \cdot \Delta T}{l} \quad (9)$
	$Q_{\text{out konveksi}}$	$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (10)$

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Analisis perbandingan mesin pemanas band heater dan pemanas induksi

Keberhasilan dari rancang bangun mesin dilihat dari keberfungsian semua komponen alat didalamnya dan didukung dengan kualitas produk yang dihasilkannya. Pengujian kinerja alat pembuat biji plastik pada penelitian ini dilakukan 2 kali untuk memastikan fungsi alat bekerja dengan baik. Hasil dari uji fungsional mesin daur ulang limbah plastik menjadi biji plastik dengan pemanas *band heater* dan pemanas induksi disajikan secara pada Tabel 2.

Perubahan pada komponen *extruder* (pelelehan) dilakukan dengan mengganti 3 buah pemanas *band heater* dengan 1 buah pemanas induksi karena pemanas induksi memiliki kerapatan energi yang tinggi dalam kumparan magnetik arus listriknya sehingga dapat melepaskan panas pada waktu yang cukup singkat [10]. Penggunaan pisau tipe silinder putar pada bagian pemotong untuk menggantikan pisau tipe baling-baling meningkatkan keamanan operasional karena bentuknya yang lebih padat dengan jari-jari yang lebih kecil serta putaran yang lebih lambat dan stabil. Perubahan pada komponen motor penggerak yang semula menggunakan tipe roda gigi menjadi *gearbox*

menghasilkan putaran yang tidak cepat panas dan menghasilkan tenaga pendorong yang lebih kuat untuk mendorong plastik, sehingga mesin dapat bekerja lebih lama [11].

Tabel 2. Perbedaan komponen antara mesin pemanas *band heater* dan pemanas induksi

Komponen	Mesin pemanas <i>band heater</i>	Mesin pemanas induksi
Extruder Cutter	Band heater Pisau pemotong tipe baling-baling dengan 3 mata pisau	Pemanas induksi Pisau pemotong tipe silinder putar dengan 1 ruas mata pisau
Motor penggerak Cooler	Tipe roda gigi Roller busa	Tipe <i>gearbox</i> Roller stainless steel

Penggantian *roller* busa dengan *roller* stainless steel pada komponen pendinginan lebih memudahkan pasta plastik dari *extruder* untuk melewati bagian pendingin, karena *roller* stainless steel lebih keras dan lebih kecil dibandingkan busa sehingga pendinginan pasta dapat berlangsung lebih baik dan tidak mudah putus. Perbandingan performa antara mesin dengan pemanas *band heater* dengan pemanas induksi ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan performa mesin pembuat biji plastik pemanas *band heater* dengan pemanas induksi

Perbandingan komponen mesin	Performa mesin
Band heater → pemanas induksi	Mencapai titik leleh PET lebih cepat dan lebih hemat energi
Pisau baling-baling → pisau silinder putar	Pemotongan lebih baik dan lebih aman dalam operasional
Motor penggerak tipe roda gigi → gearbox	Putaran motor lebih kuat mendorong <i>screw</i> dan tidak cepat panas
Roller pendingin busa → roller stainless steel	Pasta plastik tidak mudah putus saat pendinginan

Penggantian pada beberapa komponen utama mesin terbukti menghasilkan performa yang lebih baik pada proses daur ulang limbah plastik menjadi biji plastik serta lebih hemat energi.

3.2 Hasil perbandingan kualitas biji plastik

Parameter penentuan kualitas biji plastik meliputi kadar air, kandungan logam kadmium, dan kandungan logam timbal berdasarkan SNI 8424:2017 tentang resin PET daur ulang. Hasil analisis ketiga parameter tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.

Kadar air, kandungan logam kadmium, dan kandungan logam timbal pada biji plastik PET hasil daur ulang menggunakan kedua mesin menunjukkan telah memenuhi baku mutu atau di bawah ambang batas yang ditetapkan. Nilai yang memenuhi baku mutu pada kadar air menunjukkan bahwa biji plastik yang dihasilkan memiliki permukaan eksternal maupun internal dengan sedikit retakan atau rongga sehingga tidak banyak menyerap kelembapan

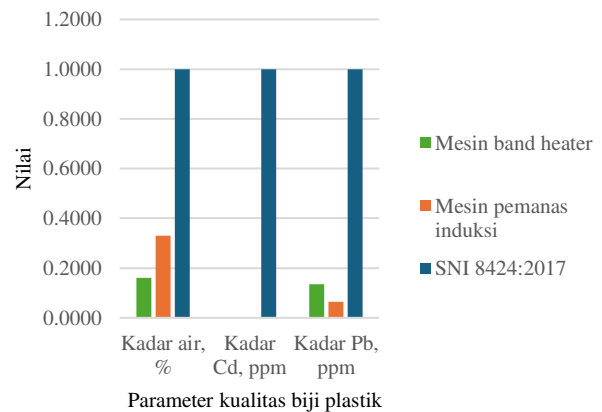
atau air dari lingkungan, hal ini dikarenakan bahan baku yang merupakan plastik PET memiliki sifat yang kuat yakni memiliki *tensile strenght* yang tinggi [7], makin besar kekuatannya makin rendah permeabilitasnya terhadap kelembapan (*moisture*) sehingga tidak mudah menyerap *moisture* [12].

Tabel 4. Perbandingan kualitas biji plastik PET dari mesin pemanas *band heater* dengan mesin pemanas induksi

No	Parameter	Biji Plastik PET dari mesin dengan <i>band heater</i> (Sumayya, 2021)	Biji Plastik PET dari mesin pemanas induksi	Nilai SNI 8424: 2017
1.	Kadar Air (%)	0,16	0,33	Maks. 1%
2.	Logam Kadmium (Cd), (ppm)	0,0006	0,00049	Maks. 1%
3.	Logam Timbal (Pb), (ppm)	0,135	0,0633	Maks. 1%

Kadar air dalam plastik juga menggambarkan kualitas plastik yang baik, plastik yang kadar airnya rendah atau permeabilitasnya terhadap *moisture* rendah akan semakin baik dalam penyimpanan bahan-bahan sehingga plastik PET merupakan bahan kemasan pangan yang bagus [12]. Masuknya kelembapan atau air ke dalam biji plastik dapat mempengaruhi sifat higroskopik biji plastik. Biji plastik yang mengandung kadar air yang tinggi memiliki sifat yang lebih higroskopik. Semakin higroskopik maka semakin rendah kualitas biji plastik. Nilai kandungan kadmium dan timbal juga menunjukkan memenuhi baku mutu atau di bawah ambang batas. Kandungan kadmium dan timbal sangat terkait dengan pigmentasi pada bahan baku plastik [13]. Kandungan kadmium dan timbal yang cukup rendah dikarenakan bahan baku yang digunakan dalam pembuatan biji plastik berasal dari limbah botol plastik air minum yang transparan yang tidak menggunakan bahan pigmentasi tambahan selain itu bahan baku plastik PET sendiri memiliki sifat tidak beracun artinya kandungan logam beratnya kecil [7].

Kadar air biji plastik PET dari mesin dengan pemanas induksi lebih tinggi dibandingkan dari mesin dengan *band heater* namun hasil pengujian kandungan logam kadmium (Cd) dan logam timbal (Pb) biji plastik PET dari mesin dengan pemanas induksi lebih rendah daripada biji plastik dari mesin dengan pemanas *band heater*. Kadar air biji plastik dari daur ulang menggunakan mesin pemanas induksi berkebalikan dengan hasil kandungan logam kadmium dan timbal biji plastik hasil daur ulang dari mesin dengan pemanas *band heater* (Gambar 5). Hal ini dikarenakan pengujian kadar air dari biji plastik yang dihasilkan mesin daur ulang dengan pemanas *band heater* menggunakan oven biasa sedangkan pengujian biji plastik yang dihasilkan dari mesin daur ulang dengan pemanas induksi menggunakan oven vakum.



Gambar 5. Perbandingan kualitas biji plastik yang dihasilkan dari mesin pemanas *band heater* dengan pemanas induksi

Perbedaan tekanan instrumen dalam uji kadar air menghasilkan pengukuran yang berbeda, pada tekanan vakum penguapan air lebih besar karena menurunkan kestabilan fase dan meningkatkan energi kinetik cairan sehingga lebih cepat menguap [14] dan menghasilkan pembacaan nilai kadar air akan lebih besar. Kandungan kadmium dan timbal dari biji plastik yang dihasilkan mesin daur ulang dengan pemanas *band heater* lebih besar daripada yang dihasilkan dari mesin daur ulang dengan pemanas induksi, hal ini terkait distribusi kadmium dan timbal yang mengkontaminasi bahan baku plastik daur ulang. Bahan baku plastik yang didaur ulang berasal dari botol plastik bekas air minum yang telah dibuang ke tempat sampah. Kadmium dan timbal merupakan logam berat yang mengkontaminasi tanah sehingga adanya kandungan kadmium dan timbal dalam biji plastik berasal dari lingkungan tempat sampah dimana botol plastik bekas air minum tersebut diambil. Perbedaan besar kandungan kadmium dan timbal yang tidak signifikan hanya disebabkan dari distribusi yang tidak merata dari kontaminasi kadmium dan timbal dari lingkungan. Kandungan logam kadmium (Cd) dan timbal (Pb) biji plastik PET penelitian masih jauh dibawah nilai ambang batas yang yang dipersyaratkan SNI 8424:2017 [15].

3.3 Hasil perbandingan efisiensi energi

Modul pemanas yang bekerja menggunakan energi listrik biasanya mengkonsumsi energi dalam jumlah besar sehingga boros energi. Penggantian elemen pemanas dan beberapa komponen penunjang pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi listrik dari mesin sehingga proses daur ulang akan lebih ramah lingkungan. Perbandingan kebutuhan energi, biaya listrik, dan kecepatan produksi dari mesin daur ulang plastik antara mesin berpemanas *band heater* dan induksi ditunjukkan pada Tabel 5, sedangkan perbandingan efisiensi energi ditunjukkan oleh parameter energi listrik sekali siklus dan kecepatan produksi (Gambar 6).

Konsumsi energi maupun biaya listrik dari mesin berpemanas induksi mengalami penurunan sebesar 86,50%, sedangkan kecepatan mesin dalam menghasilkan biji plastik meningkat sebesar 16,47% dibandingkan dengan mesin yang berpemanas *band heater*.

Tabel 5. Perbandingan kebutuhan energi, biaya listrik dan kapasitas produksi mesin daur ulang plastik PET berpemanas *band heater* dan induksi

	Satuan	Mesin dengan <i>band heater</i>	Mesin dengan pemanas induksi
Daya terpasang	Watt	379,4	1079,5
Waktu sekali siklus	s	2100	806
Kecepatan produksi	kg/jam	0,085	0,099
Energi listrik sekali siklus	Kwh	0,6297	0,0849
Biaya listrik (Rp 1445/kWh)	Rp	Rp 909,93	Rp 122,75

Salah satu cara untuk mengetahui efisiensi energi suatu alat adalah dengan menggunakan perhitungan neraca panas. Data yang diperlukan dalam perhitungan neraca panas meliputi; massa bahan baku dan produk, temperatur masuk dan temperatur keluar serta kapasitas panas perkomponen. Perhitungan kapasitas panas didasarkan pada ilmu termodinamika yaitu *polynomial empiric* yang menghubungkan nilai dari kapasitas panas (C_p) sebagai fungsi temperatur selanjutnya akan dikalkulasikan antara panas yang masuk dan keluar reaktor. Hasil dari perhitungan neraca panas pada pengoperasian mesin daur ulang plastik berpemanas induksi dapat dilihat pada Tabel 6.

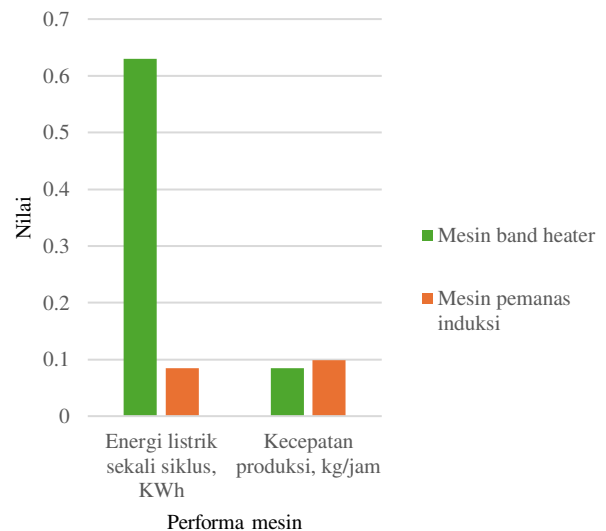
Hasil perhitungan neraca panas menunjukkan bahwa kalor atau energi panas yang diperlukan oleh mesin sebesar 6,80 KJ dan kalor yang dikeluarkan (Q_{out}) sebesar 4,00 KJ, sehingga panas yang terbuang ke lingkungan secara bebas ke berbagai arah atau Q_{loss} sebesar 2,80 KJ. Panas yang dipasok ke dalam mesin tidak semua diserap untuk proses produksi biji plastik, tetapi sebagian ada yang keluar ke lingkungan.

Tabel 6. Neraca panas mesin daur ulang plastik PET dengan pemanas induksi

Keterangan Perhitungan	Hasil Perhitungan In (KJ)	Hasil Perhitungan Out (KJ)
Q_{in} PET	0,53	-
Q_{in} listrik	6,27	-
Q_{out} extruder	-	3,06
Q_{out} cutter	-	0,45
Q_{out} konduksi	-	0,12
Q_{out} konveksi	-	0,37
Q_{loss}	-	2,80
Total	6,80	4,00

Keluarnya energi berupa panas ke lingkungan berasal dari perpindahan panas secara konduksi (merambat melalui alat) dan juga secara konveksi (dibawa aliran udara) disamping itu karena proses pendinginan biji plastik juga berlangsung secara terbuka dengan sistem pendinginan oleh udara sekitar. Hal ini sesuai dengan pernyataan oleh yang

menyatakan bahwa *ambient heat loss* merupakan suatu panas hilang yang disebabkan oleh adanya suhu ambien atau suhu lingkungan dengan suhu operasinya.



Gambar 6. Perbandingan performa mesin yang dihasilkan dari mesin pemanas *band heater* dengan pemanas induksi

Ambient heat loss dapat terjadi oleh adanya proses *cooling* saat gas mengalir keluar reaktor menuju *cooler* yang disebabkan oleh perbedaan suhu dimana suhu pada proses operasi mesin lebih tinggi dibandingkan dengan suhu lingkungan sekitar sehingga terjadi proses *natural cooling* [16], [17].

4. Kesimpulan

Kualitas biji plastik PET dari daur ulang limbah botol plastik air minum dengan menggunakan mesin dengan pemanas *band heater* maupun dengan mesin pemanas induksi memenuhi baku mutu kadar air, kandungan kadmium, dan kandungan sesuai dengan SNI 8424:2017 yakni di bawah 1,0 % untuk ketiga parameter tersebut, yakni berturut-turut sebesar 0,16% dan 0,33%, 0,0006 % dan 0,00049%, serta 0,135 % dan 0,0633%, hal ini menunjukkan setiap komponen mesin daur ulang berfungsi dengan baik. Namun mesin berpemanas induksi memiliki kecepatan produksi serta tingkat konsumsi energi listrik yang lebih kecil dibandingkan dengan mesin berpemanas *band heater* dengan kecepatan 16,47 % lebih cepat dan penurunan konsumsi energi hingga 86,50%. Hasil perhitungan neraca massa menunjukkan bahwa besar panas yang hilang dari mesin berpemanas induksi mencapai 2,8 KJ dari 6,8 KJ energi input atau efisiensi energi hanya sebesar 58,8%. Penelitian lanjutan diperlukan untuk meningkatkan efisiensi energi mesin daur ulang plastik agar memenuhi standar operasional mesin yakni >70%.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Politeknik Negeri Cilacap dan Program Studi Sarjana Terapan Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan yang telah menyediakan sarana dan prasarana yang mendukung penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] C. Rahmawati, B. L. Nopitasari, S. Mardiyah WD, A. K. Wardani, and B. Nurbaety, "Penyuluhan Pengelolaan Sampah Plastik Menuju 'Zero Waste Kampus Ummat,'" *SELAPARANG J. Pengabd. Masy. Berkemajuan*, vol. 3, no. 2, p. 196, 2020, doi: 10.31764/jpmb.v3i2.1689.
- [2] D. P. S. KLHK, "Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah," 2020. .
- [3] J. Iskandar and A. Armansyah, "Pemanfaatan Sampah Plastik untuk Dijadikan Barang Bernilai Ekonomis di Desa Ganti Kecamatan Praya Timur," *Lumbung Inov. J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 2, p. 56, 2019, doi: 10.36312/linov.v4i2.455.
- [4] A. D. Astuti, J. Wahyudi, A. Ernawati, and S. Q. Aini, "Kajian Pendirian Usaha Biji Plastik di Kabupaten Pati, Jawa Tengah Feasibility Study of Plastic Pellet in Pati District, Central Java," *J. Litbang*, vol. 16, no. 2, pp. 95–112, 2020, [Online]. Available: <http://>.
- [5] S. Syarafina *et al.*, "Rancang Bangun Mesin 'Tipipiel One' Pengolah Sampah Plastik Menjadi Biji Plastik Dengan Metode Pelletizing Design and Building 'Tipipiel One' For Processing Plastic Waste Become Plastic Pellets Using Pelletizing Method," *Semin. Nas. Inov. dan Pengemb. Teknol. Terap. Cilacap*, pp. 45–52, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.pnc.ac.id/index.php/senovtek>.
- [6] M. Gall, A. Schweighuber, W. Buchberger, and R. W. Lang, "Plastic bottle cap recycling—characterization of recycle composition and opportunities for design for circularity," *Sustain.*, vol. 12, no. 24, pp. 1–21, 2020, doi: 10.3390/su122410378.
- [7] D. Ariyani, N. Warastuti, and R. Arini, "Ecobrick Method To Reduce Plastic Waste In Tanjung Mekar Village, Karawang Regency," *Civ. Environ. Sci.*, vol. 004, no. 01, pp. 022–029, 2021, doi: 10.21776/ub.civense.2021.00401.3.
- [8] Y. Yusuf, W. Sukmawati, and H. B. Riyanti, "Ecobrick as a smart solution for utilizing plastic and cloth waste in Jakarta," *J. Community Serv. Empower.*, vol. 1, no. 3, pp. 114–120, 2020, doi: 10.22219/jcse.v1i3.12250.
- [9] Z. Suryafiansyah, A. D. Cahyaningtyas, A. Nahdiyah, E. Wulandari, N. Aulia, and H. Santjoko, "Pembuatan Ecobrick Sebagai Upaya Pengurangan Sampah Plastic di Dusun Pangukan Kecamatan Tridadi Kabupaten Sleman," *IJOH Indones. J. Public Heal.*, vol. 1, no. 2, pp. 137–143, 2023, doi: 10.61214/ijoh.v1i2.66.
- [10] W. Wang *et al.*, "Induction Heating: An Enabling Technology for the Heat Management in Catalytic Processes," *ACS Catal.*, vol. 9, no. 9, pp. 7921–7935, 2019, doi: 10.1021/acscatal.9b02471.
- [11] R. Bharani and A. Sivaprakasam, "A Review Analysis on Performance and Classification of Wind Turbine Gearbox Technologies," *IETE J. Res.*, vol. 68, no. 5, pp. 3341–3355, 2022, doi: 10.1080/03772063.2020.1756936.
- [12] Y. Hu, S. Sun, and K. Li, "Study on Influence of Moisture Content on Strength and Brittle-Plastic Failure Characteristics of Xiashu Loess," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/5919325.
- [13] N. K. L. Pramesti, "Profil Hematologi, Kadar Timbal dan Kadmium dalam Darah Sapi Bali yang Rumennya Mengandung Sampah Plastik," *Indones. Med. Veterinus*, vol. 9, no. 4, pp. 522–530, 2020, doi: 10.19087/imv.2020.9.4.522.
- [14] J. P. Kwang, "Mathematical and experimental modelling of low-pressure-LOW-PRESSURE-VAPORIZATION PHENOMENA," 2019.
- [15] Badan Standarisasi Nasional, "Sni 8424:2017," 2017.
- [16] R. Janalik, Z. Kadlec, and T. Vytisk, "Determination of thermal loss during the operation of industrial washing machine," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2672, 2023, doi: 10.1063/5.0122224.
- [17] A. A. Shevaladze *et al.*, "Analysis of Heat Loss in Water Heating Tanks Based on Temperature Setting Variation During Natural Circulation Flow using FASSIP-02 Test Loop," *Indones. J. Nucl. Sci. Technol. Raya Lenteng Agung*, vol. 23, no. 1, p. 12640, 2022.