

Daur Ulang Sampah Plastik Residu yang Layak secara Teknis dan Ekonomis: Material Pengganti pada Produk Berbahan Dasar Kayu

Sugeng Waluyo ^{1*}, Yuris Sarifudin ², Anriady Miftahul Putra ¹, Muhamad Rafli Ramadhan ¹, Indro Prakoso ¹

¹ Teknik Industri UNSOED; email: sugeng.waluyo@unsoed.ac.id,
anriady.putra@mhs.unsoed.ac.id, muhamad.ramadhan@mhs.unsoed.ac.id,
indro.prakoso@unsoed.ac.id

² PT. Daurulang Indonesia; email: yurissarifudin@gmail.com

* Corresponding author

Abstrak

Sampah plastik residu seperti pampers, busa, kain, dan pembungkus multi lapis komposit plastik-logam dikenal tidak mempunyai nilai ekonomi seperti layaknya sampah plastik yang terbuat dari polimer yang didesain untuk didaurulang seperti botol air mineral. Saat ini, pendayagunaan material residu tersebut menjadi obyek riset yang intensif di Indonesia. Sebagai sebuah kontribusi, kami menawarkan solusi teknik peleburan dan pencetakan yang menggunakan sampah plastik residu sebagai bahan baku pengganti pada produk berbasis kayu. Dalam hal ini, sebuah tungku yang dapat melebur berbagai jenis sampah plastik residu telah dirancang menggunakan pemanas induksi. Luaran tungku berupa material berbentuk pasta dapat dicetak dalam bentuk batang dan papan. Sebagai contoh, disajikan pula dalam makalah ini produk yang sebelumnya menggunakan kayu sebagai material dapat dibuat menggunakan material hasil peleburan tersebut.

Kata Kunci: sampah plastik, plastik residu, tungku induksi, peleburan plastik, kayu

Abstract

[Recycling of residual plastic wastes for material replacement of wood based products]
Residual plastic wastes such as pampers, foam, cloth, and multi-layer packaging made from composite plastic-metal are widely known to have no economic value compared to plastic wastes made from polymers which are dedicated to be recycled, e.g. mineral water bottles. Recently, the utilization of those residual materials is an object of intensive research in Indonesia. Hence, as a contribution, we offer melting and molding solutions to utilize residual plastic wastes as raw materials for replacing wood in some products. In this case, a melting furnace that can melt various types of residual plastic materials has been designed based on induction heating. The output of the furnace is paste-like material that can be molded into rods and plates. As an example, it is also presented in this paper some products, previously using wood as the basis material, can be made using the paste-like material.

Keywords: plastic waste, residual plastic, induction furnace, melting plastics, wood

Kelompok BoK yang bersesuaian dengan artikel: *Design & Manufacturing Engineering*

Saran format untuk mensitasi artikel ini:

Waluyo, S., Sarifudin, Y., Putra, A.M., Ramadhan, M.R., dan Prakoso, I. (2023). Daur Ulang Sampah Plastik Residu yang Layak secara Teknis dan Ekonomis: Material Pengganti pada

Produk Berbahan Dasar Kayu. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri (SENASTI) 2023*, 851-859.

1. Pendahuluan

Sampah plastik residu seperti pampers, busa, kain, dan pembungkus multi lapis komposit plastik-logam dikenal tidak mempunyai nilai ekonomi seperti layaknya sampah plastik yang terbuat dari polimer yang didesain untuk didaurulang seperti botol air mineral. Usaha untuk mengolah plastik-plastik yang tidak bernilai ekonomi mulai populer di negara-negara berkembang (Al-Salem et al., 2010; Low et al., 2001; Mewes et al., 2019; Prabowo et al., 2022; Cahyono et al., 2023; Liliana & Frieda, 2023). Jenis usaha pengolahan tersebut umumnya terbagi atas 3 kategori yaitu hanya dengan pengurangan atau perubahan dimensi, peleburan, dan pembakaran. Masing-masing jenis pengolahan tersebut mempunyai sisi positif dan negatif sebagai berikut. Pertama, solusi pengolahan dengan hanya mengurangi atau merubah dimensi untuk kemudian dimanfaatkan untuk kebutuhan lain tentunya tidak membutuhkan energi yang besar dan tidak menimbulkan emisi namun tidak dapat digunakan untuk semua jenis sampah plastik. Kedua, usaha peleburan menjadi solusi lain untuk sampah plastik residu karena mampu menerima hampir semua jenis plastik. Yang perlu diperhatikan adalah bahwa solusi ini menimbulkan emisi dan membutuhkan energi peleburan yang tinggi. Solusi terakhir merupakan solusi yang paling unggul dari segi kapasitas namun membutuhkan biaya yang besar untuk mengatasi emisi, yang umumnya jauh lebih tinggi dari proses peleburan, dan juga biaya perawatan unit pembakaran.

Dalam rangka ikut berkontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan sampah plastik residu, kami memilih solusi peleburan material sampah tersebut menjadi material pengganti untuk produk-produk berbasis kayu. Peleburan tidak menjamin bahwa tidak menimbulkan efek negatif, namun bila dibandingkan dengan solusi tanpa melakukan pemrosesan dan pembakaran, maka peleburan bisa dianggap sebagai jalan tengah dalam hal kapasitas dan dampak negatif dari emisi. Dalam hal ini, tentunya perlu dibuat sebuah tungku peleburan khusus yang mampu menangani material tersebut. Tungku yang dirancang adalah tungku induksi seperti layaknya tungku induksi peleburan logam. Pemilihan tungku induksi dimaksudkan untuk menekan emisi yang muncul seandainya menggunakan pemanasan berbasis bahan bakar cair atau padat. Meskipun tungku induksi tidak lazim digunakan untuk peleburan plastik, tetapi fakta bahwa laju panas induksi lebih baik dari panas resistansi (Mishra et al., 2019; Tanaka et al., 2012) menjadikannya layak dipilih.

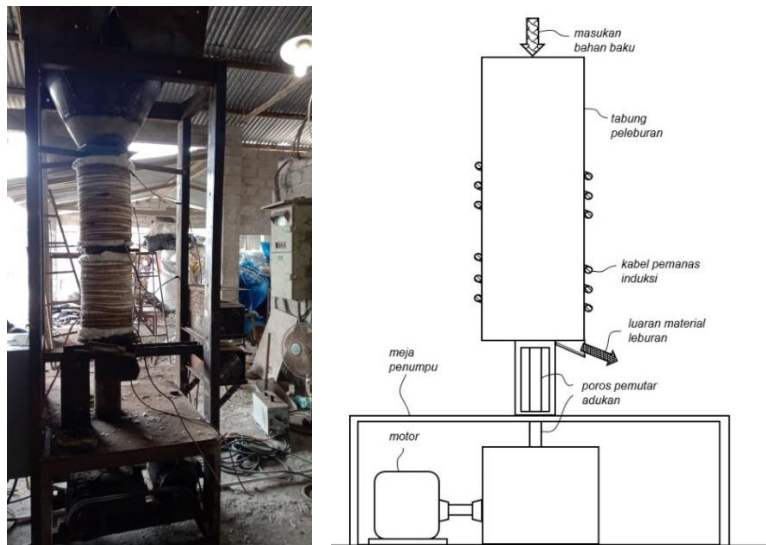
Pada kesempatan ini juga akan ditampilkan contoh produk yang dihasilkan dari material hasil luaran tungku peleburan. Material hasil peleburan mempunyai karakteristik berwarna hitam akibat adanya plastik residu yang telah berubah struktur molekulnya sehingga menjadi karbon atau arang. Secara umum material hasil peleburan memiliki sifat mekanis dan fisik sebagai komposit plastik-karbon yang cukup getas karena kandungan polimer dan karbon dalam proporsi yang tidak terlalu jauh. Hal tersebut terjadi karena proses peleburan dilakukan pada temperatur konstan namun untuk sampah plastik residu yang mempunyai temperatur dekomposisi berbeda-beda.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua tahapan yaitu pengembangan tungku peleburan dan pencetakan material hasil peleburan. Secara rinci, hal tersebut akan dijelaskan sebagai berikut.

2.1. Tungku peleburan

Tungku peleburan yang dirancang untuk sampah plastik residu dapat dilihat pada Gambar 1. Tungku ini memiliki tinggi kurang lebih 2.5 meter dengan tinggi tabung terlilit kawat induksi kurang lebih 1.25 meter seperti terlihat pada Gambar 1 kiri. Komponen detail dan fungsi spesifik bagian dalam tungku dapat dilihat pada Sunardi et al. (2023). Daya listrik yang digunakan untuk tungku tersebut adalah 20 kilowatt yang terbagi atas lilitan atas dan bawah masing-masing sebesar 10 kilowatt seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk meningkatkan laju peleburan, di dalam tungku dipasang pengaduk yang digerakan oleh motor seperti ditunjukkan pada Gambar 1 (kanan).



Gambar 1. Konfigurasi tungku siap beroperasi (kiri) dan keterangan komponennya (kanan).

Sesuai dengan Gambar 1 (kanan), cara kerja tungku akan dijelaskan sebagai berikut. Pertama, bahan baku berupa sampah plastik residu dimasukkan dari mulut tabung bagian atas yang kemudian akan dipaksa turun secara perlahan karena adanya batang pengarah didalam tungku yang memberikan hambatan. Sambil berputar, batang tersebut juga berfungsi untuk mendekatkan plastik ke dinding tabung reaktor yang telah mendapatkan panas induksi dari lilitan kawat berarus listrik *direct current* (DC) dengan daya tersebut diatas.

Tungku peleburan mempunyai kapasitas peleburan antara 20-40 kg per-jam sampah plastik residu yang sebagian besar dalam kondisi utuh dan kotor seperti terlihat pada Gambar 2. Kapasitas ini dihitung secara rata-rata dengan kerja tungku tanpa jeda dari pukul 09.00 hingga 15.00.



Gambar 2 . Contoh sampah plastik residu yang dilebur pada tungku peleburan

2.2. Produk lelehan

Material hasil peleburan pada tungku dicirikan dengan warna dominan hitam dan berbentuk pasta seperti terlihat pada Gambar 3. Dari segi viskositas dan massa jenis, material tersebut masih dapat dikatakan sebagai polimer namun dengan campuran karbon atau arang dan zat pengotor lain. Selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 3 adanya asap tipis yang merupakan produk sampingan dari peleburan. Meskipun dari pengamatan kerapatan asap tidak seperti hasil pembakaran sampah plastik secara terbuka pada umumnya, zat-zat yang terkandung bersama emisi tersebut perlu mendapatkan penanganan yang diperlukan. Sehingga dalam hal ini telah dibuat cerobong pembuangan asap menggunakan kipas penyedot (*exhaust*).

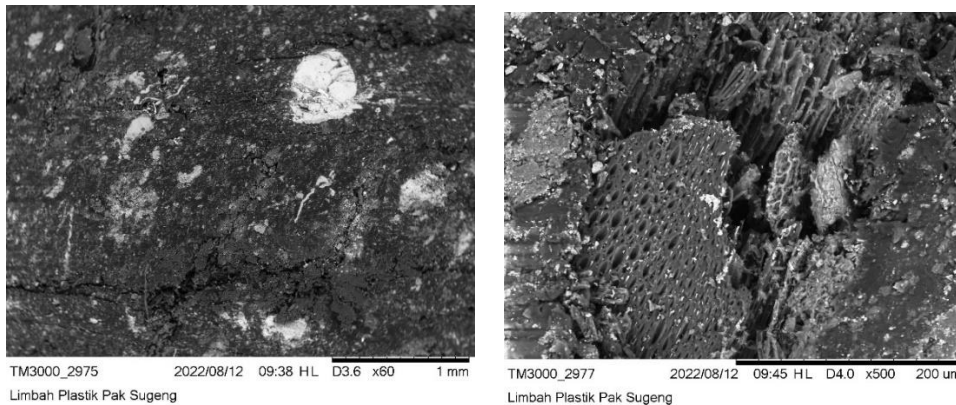


Gambar 3. Material hasil peleburan dicirikan dengan warna hitam dan berbentuk pasta (A) yang keluar dari tungku peleburan (B).

Sementara itu, sebagai bagian dari proses awal analisis rinci terhadap sifat mekanis dan fisik material hasil peleburan maka diperlukan karakterisasi struktur mikro dari material tersebut seperti terlihat pada Gambar 4. Hasil karakterisasi ini digunakan untuk menentukan seberapa jauh perbedaan mikrostruktur pada material hasil peleburan dibandingkan dengan kayu. Seperti diketahui, secara umum kayu memiliki struktur mikro yang berongga dengan kekuatan utama ada pada struktur selulosa pembentuk rongga tersebut (Ansell, 2015). Bila dilihat dari Gambar 4 (kiri) pada pembesaran 60 kali, dapat diamati bahwa struktur material hasil peleburan memiliki kepadatan yang tinggi tidak seperti kayu pada umumnya. Hal ini tentunya akan berkorelasi kepada berat dan penggunaan dari material hasil peleburan tersebut sebagai pengganti kayu. Perbesaran selanjutnya hingga 500 kali pada Gambar 4

(kanan) memperlihatkan adanya struktur berongga mirip struktur selulosa yang kemungkinan besar adalah sampah organik atau sisa tanaman.

Diperoleh data pengujian tekan bervariasi antara 5-10 MPa yang sangat bergantung kepada jenis plastik residu yang masuk ke mesin (PT. Daurulang Indonesia, 2023). Kekuatan ini sesuai dengan beberapa plastik jenis *polyethylene terephthalate* (PET) yaitu sekitar 9.5 MPa (Reksi et al., 2021). Untuk mengetahui respon material hasil leburan pada temperatur tinggi saat ini sedang dilakukan pengujian mulur (*creep*).



Gambar 4. Pandangan mikroskop elektron dari material hasil leburan dengan pembesaran 60 kali (kiri) dan 500 kali (kanan). Struktur heterogen berbentuk komposit pada skala mikro diakibatkan adanya bahan baku plastik residu yang beragam dan juga adanya pengotor lain.

Sebagai material yang diproyeksikan untuk menggantikan kayu, maka yang pertama dilakukan dengan material tersebut adalah pembuatan produk setengah jadi yang berupa batang atau papan. Produk ini dibuat menggunakan teknik pencetakan langsung dan ekstruding seperti terlihat pada Gambar 5. Tidak seperti layaknya produk plastik berbahan dasar bijih polimer sejenis, produk ini memiliki kekasaran permukaan yang lebih tinggi dikarenakan adanya partikel karbon. Namun demikian, sebagian besar jenis-jenis proses permesinan dan penyambungan pada kayu dapat diadopsi dengan baik pada produk ini yang akan ditunjukkan pada bagian hasil dan pembahasan.



Gambar 5. Produk berupa lembaran papan dari cetakan langsung (kiri) dan cetakan ekstruder (kanan).

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan disajikan produk-produk yang telah dibuat purwarupanya menggunakan material hasil peleburan. Produk yang dipilih tersebut saat ini telah dipasarkan dan menggunakan kayu sebagai material dasarnya. Dengan menggunakan metoda *design for manufacturing and assembly* (DFMA) dilakukan perbandingan nilai keekonomisan produk tersebut ketika dibuat dengan material hasil peleburan dan kayu. Produk pertama adalah rak sepatu (Ramadhan, 2023) yang terbuat dari papan dengan ketebalan sekitar 1-2 cm pada Gambar 5. Sementara itu, produk kedua adalah kursi sederhana (Anriady, 2023) yang terbuat dari batang hasil proses pencetakan menggunakan ekstruder. Produk terakhir adalah kusen atau rangka jendela yang terbuat dari batang hasil ekstruder yang mengalami proses pengerjaan layaknya kayu.

Ramadhan (2023) menggunakan material papan dari hasil pencetakan manual material peleburan untuk membuat purwarupa rak sepatu seperti terlihat pada Gambar 6. Untuk membuat rak seperti pada gambar diperlukan proses tambahan berupa pelapisan papan dengan menggunakan proses laminasi dimana material pelapis direkatkan kepada papan menggunakan *adhesive* atau lem plastik. Proses perakitan tetap menggunakan baut seperti layaknya perakitan struktur berbahan dasar kayu. Untuk mengetahui perbedaan dari sisi produsen dalam pengerjaan material leburan dan kayu, metoda *design for assembly and manufacturing* (DFMA) digunakan sebagai dasar penilaian seperti terlihat pada Tabel 1. Informasi rinci terkait penggunaan DFMA pada pekerjaan ini dapat dilihat pada Ramadhan (2023).



Gambar 6. Rak sepatu dengan bahan dasar material hasil peleburan. Lapisan warna cerah adalah material pelapis yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan desain.

Tabel 1. Perbandingan penilaian pihak produsen rak sepatu dari material dari kayu dan hasil peleburan menggunakan metoda DFMA

No	Kriteria	Kayu <i>Plywood</i>		Material Hasil Peleburan	
		<i>Rating</i>	Poin	<i>Rating</i>	Poin
1	Fungsi	Baik	4	Baik	4
2	Tampilan	Baik	4	Baik	4
3	Daya Tahan	Baik	4	Sangat Baik	5
4	Mobilitas	Cukup	3	Dapat Ditolerir	2
5	Tingkat Keawetan	Baik	4	Sangat Baik	5
6	Kapasitas	Cukup	3	Cukup	3
7	Sistem <i>Joint</i>	Baik	4	Cukup	3

Sementara itu, Anriady (2023) menggunakan bahan baku berupa material hasil peleburan berbentuk batang untuk membuat kursi panjang seperti terlihat pada Gambar 7. Berbeda dengan rak sepatu yang menggunakan material pelapis tambahan, kursi kayu yang terlihat pada gambar hanya menjalani proses pengecatan atau pelapisan dengan bahan kimia. Keunggulan yang mencolok dari kursi ini dibanding kursi yang sama terbuat dari kayu adalah bebas pelapukan meskipun mendapatkan pengaruh lingkungan yang lembab dan ekstrim apabila diletakan di luar ruangan.



Gambar 7. Kursi kayu yang terbuat dari material hasil peleburan. Untuk menjadikan produk lebih mengkilap maka dilakukan pengecatan.

Tabel 2. Perbandingan penilaian pihak produsen kursi kayu terhadap penggunaan material dari kayu dan hasil peleburan menggunakan metoda DFMA

No	Kriteria	Kayu		Material Hasil Peleburan	
		<i>Rating</i>	Poin	<i>Rating</i>	Poin
1	Fungsi	Baik	4	Baik	4
2	Tampilan	Baik	4	Baik	4
3	Daya Tahan	Baik	4	Sangat Baik	5
4	Mobilitas	Baik	4	Dapat Ditolerir	2
5	Tingkat Keawetan	Cukup	3	Baik	4
6	Kapasitas	Cukup	3	Cukup	3
7	Sistem <i>Joint</i>	Cukup	3	Baik	4

Contoh terakhir diambil dari produk yang dibuat oleh PT. Pracetak Bangun Indonesia berupa rangka jendela seperti terlihat pada Gambar 8. Terlihat pada gambar tersebut perbedaan yang mencolok berupa warna kehitaman dibandingkan bila terbuat dari kayu. Menariknya, dalam pembuatannya masih dapat menggunakan teknik produksi dan peralatan pertukangan yang umumnya digunakan untuk kayu (PT. Daurulang Indonesia, 2023).



Gambar 8. Kusen atau rangka jendela terbuat dari material hasil peleburan.

4. Kesimpulan

Artikel ini menyajikan metode produksi bahan baku dan contoh produk yang menggunakan material hasil peleburan sampah plastik residu yang tidak memiliki nilai ekonomi signifikan untuk mendapatkan proses daur ulang. Produk yang dimaksud adalah mereka yang umumnya dipasarkan sebagai produk yang terbuat dari kayu. Tungku induksi yang didayai oleh listrik digunakan sebagai alat peleburan yang dapat menerima sampah jenis tersebut. Material berupa pasta yang keluar dari tungku dapat dicetak sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Pada kesempatan ini disajikan 3 contoh produk yang umumnya menggunakan material dari kayu namun digantikan oleh material hasil peleburan yaitu rak sepatu, kursi dan rangka jendela. Berdasarkan penilaian dari sudut pandang produsen kayu, diperoleh respon yang baik dimana proses produksi memiliki nilai yang mirip apabila produk tersebut terbuat dari kayu.

Ucapan Terima Kasih: Terima kasih kami ucapkan kepada PT. Daurulang Indonesia dan PT. Pracetak Bangun Indonesia Klaten yang telah memberikan akses dan data penelitian tahun 2021-2023.

Daftar Pustaka

- Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2010). The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(1), 103-129
- Anriady, M. P. (2023). *Perancangan proses produksi kursi dan meja makan berbahan dasar holzewing menggunakan metode design for manufacturing and assembly (DFMA)*. [Tugas Akhir, Teknik Industri Universitas Jenderal Soedirman].
- Ansell, M. P. (2015). Wood microstructure—A cellular composite. In *Wood composites* (pp. 3-26). Woodhead Publishing.

- Cahyono, G. R., Amrullah, A., & Ansyah, P. R. (2023). Pengolahan sampah plastik menggunakan metode tsc-pyrolysis menjadi bahan bakar plastic oil pada Bank Sampah Khalid Banjarbaru. *Jurnal Pengabdian ILUNG (Inovasi Lahan Basah Unggul)*, 2(3), 436-443.
- Liliana, L., & Frieda, F. (2023). Porositas beton berpori dengan agregat kasar buatan dari limbah plastik PET. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil TRANSUKMA*, 5(2), 168-174.
- Low, S. L., Connor, M. A., & Covey, G. H. (2001, September). Turning mixed plastic wastes into a useable liquid fuel. In 6th World Congress of Chemical Engineering.: Australia.
- Mewes, D., & Sujessy, L. (2019). The Application of a solar parabolic trough collector for the melting of plastic waste. In *Advanced Studies in Energy Efficiency and Built Environment for Developing Countries* (pp. 169-178). Springer, Cham.
- Mishra, H., Patidar, B., Pante, A. S., & Sharma, A. (2019). Mathematical modelling, simulation and experimental validation of resistance heating and induction heating techniques for E-waste treatment. *IET Electric Power Applications*, 13(4), 487-493.
- Prabowo, D., Hardini, P., Kurniawan, I., & Santoso, A. (2022). Pengaruh penambahan limbah plastik sebagai alternatif pengganti bata beton dinding rumah. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 3(1), 27-32.
- PT. Daurulang Indonesia (2023, Agustus 18). <https://daurulang.id/>
- Ramadhan, M. R. (2023). *Usulan perancangan proses produksi rak sepatu berbahan dasar holzewig menggunakan metode design for manufacturing and assembly (DFMA)*. [Tugas Akhir, Teknik Industri Universitas Jenderal Soedirman].
- Reksi, M. R., Jati, D. R., & Fitriainingsih, Y. (2021). Perbandingan Kuat Tekan Bata Plastik Berjenis Polypropylene (Pp) Polyethylene Terephthalate (Pet) Dan High Density Polyethylene (Hdpe). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 9(1), 019.
- Sunardi, S., Wiwin, T. I., Waluyo, S., & Sarifudin, Y. (2023). Tungku induksi peleburan sampah plastik tipe vertical. Paten Indonesia No. IDS000005944.
- Tanaka, K., Harada, R., Uemura, T., Katayama, T., & Kuwahara, H. (2012). Development of rapid pipe moulding process for carbon fiber reinforced thermoplastics by direct resistance heating. In *International Journal of Modern Physics: Conference Series* (Vol. 6, pp. 616-621). World Scientific Publishing Company.