

Rancang Bangun Mesin Molding Block Komposit Serat Sawit

Ahmad Zubair Sultan^{1*}, Baso Nasrullah², Syahril³, Syam Putra Utama⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

*E-mail korespondensi: ahmadzubairsultan@poliupg.ac.id

Abstract: Plastic thermoforming is widely applied in manufacturing because of its lightweight, strength, corrosion resistance, electrical insulation, and ease of forming. This study aims to analyze the control characteristics of an automated plastic vacuum-forming machine and determine optimal processing parameters for PET sheets. The research involved machine design, fabrication, perakitan, testing, and analysis of experimental data. Polyethylene Terephthalate (PET) sheets with thicknesses of 0.3, 0.5, and 0.75 mm were tested under different heating temperatures, heating times, and vacuum times. The machine was controlled automatically using an Arduino-based control system with a Nextion LCD interface. The results showed that the machine successfully formed PET sheets into the desired 1A mica shape according to the mold geometry. The optimal parameters varied with sheet thickness. For 0.75 mm PET, the lowest deviation was obtained at a heating temperature of 110 °C, heating time of 30 min, and vacuum time of 10 s. For 0.5 mm PET, the optimal parameters were 100 °C, 23 min, and 10 s, respectively. For 0.3 mm PET, the lowest deviation was achieved at 100 °C, 20 min, and 14 s. These results demonstrate that the automated control system can effectively regulate the vacuum-forming process and that the optimal parameters depend on PET sheet thickness.

Keywords: Molding machine, EFB, melamine formaldehyde resin, polyester resin, heat-resistant composite.

Abstrak: Thermoforming plastik banyak digunakan dalam proses manufaktur karena memiliki keunggulan berupa ringan, kuat, tahan korosi, bersifat isolator listrik, dan mudah dibentuk. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik sistem kendali pada mesin plastic vacuum forming otomatis serta menentukan parameter proses yang optimal untuk lembaran PET. Penelitian meliputi tahap perancangan, pembuatan, perakitan, pengujian, dan analisis data hasil pengujian. Material yang digunakan adalah lembaran Polyethylene Terephthalate (PET) dengan tiga variasi ketebalan, yaitu 0,3; 0,5; dan 0,75 mm. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan temperatur pemanasan, waktu pemanasan, dan waktu vacuum. Sistem kendali mesin menggunakan Arduino dengan antarmuka Nextion LCD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin mampu membentuk lembaran PET menjadi bentuk mika 1A sesuai dengan geometri cetakan. Parameter optimal berbeda berdasarkan ketebalan lembaran. Pada ketebalan 0,75 mm, penyimpangan terendah diperoleh pada temperatur 110 °C, waktu pemanasan 30 menit, dan waktu vacuum 10 detik. Pada ketebalan 0,5 mm, parameter optimal adalah 100 °C, 23 menit, dan 10 detik. Sementara itu, pada ketebalan 0,3 mm, penyimpangan terendah diperoleh pada 100 °C, waktu pemanasan 20 menit, dan waktu vacuum 14 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem kendali otomatis mampu mengatur proses vacuum forming secara efektif, dengan parameter optimal yang bergantung pada ketebalan lembaran PET.

Kata Kunci: Mesin molding, TKKS, resin melamine formaldehyde, resin polyester, komposit tahan panas.

I. PENDAHULUAN

Di era sekarang ini penggunaan plastik tidak akan lepas dari kehidupan manusia sehari-hari, penggunaan plastik banyak digunakan pada sektor pengemasan melihat positifnya perkembangan industri makanan dan minuman. Sifat plastik yang mudah dibentuk, ringan, kuat, tahan karat, sebagai isolator listrik yang baik dan tentunya mempunyai nilai ekonomis yang tinggi, inilah yang menjadikan penggunaan plastik semakin banyak bahkan mengganti penggunaan bahan logam, kayu dan kaca. [1].

Dalam hal ini Kemenperin menyatakan bahwa industri kemasan plastik berperan penting dalam rantai pasok bagi sektor-sektor strategis seperti makanan dan minuman, farmasi, kosmetika, dan elektronika. Kemenperin mencatat ada 925 perusahaan di Indonesia yang memproduksi berbagai macam produk plastik yang menyerap 37.327 orang tenaga kerja dan memiliki kesanggupan produksi sebesar 4,68 juta ton per tahun [2].

Salah satu jenis plastik yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah polyethylene terephthalate atau biasa disebut PET. Plastik PET mempunyai kekuatan mekanik yang tinggi, sifat fisik yang transparan, tidak beracun, tidak berpengaruh terhadap rasa, dan permeabilitas yang dapat diabaikan untuk karbondioksida. Selain itu, plastik PET mempunyai kekuatan tarik dan

kekuatan impak yang sangat baik, begitu juga dengan ketahanan kimia, clarity, processability, kemampuan warna, dan stabilitas termalnya [3].

Berdasarkan keterangan PLT Direktur Jenderal Industri Kimia, Farmasi, dan Tekstil (IKFT) Kementerian Perindustrian, Ignatius Warsito mengatakan “kapasitas industri barang jadi plastik nasional saat ini mencapai 7,679 juta ton dengan total konsumsi barang jadi plastik sebesar 8,227 juta ton, dari total konsumsi barang jadi plastik tersebut, sebanyak 7,12 juta ton dipenuhi dari dalam negeri.”.

Oleh karena itu, produk berbahan plastik saat ini dapat mengungguli produk yang terbuat dari bahan logam, keramik, maupun kaca di bidang industri. Satu diantara proses pengolahan plastik adalah dengan metode vacuum forming. Mesin vacuum forming merupakan mesin yang menggunakan metode thermoforming dalam membentuk plastik. Thermoforming merupakan metode pembentukan lembaran plastik melalui proses pemanasan dan pembentukan dengan proses vacuum. Mesin ini membuat produk dari bahan dasar plastik menjadi berbagai bentuk sesuai yang diinginkan. Proses pembentukannya dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti: temperatur pemanasan, jenis dan ketebalan lembaran plastik, dan tekanan vacuum yang digunakan. Pada proses thermoforming vacuum memiliki beberapa keuntungan diantaranya tidak perlu tekanan tinggi, kekuatan cetakan tidak terlalu tinggi, mudah mencetak berbagai bentuk, dari bentuk sederhana sampai yang berbentuk rumit, mudah diotomatisasi, dan produk yang dihasilkan relatif amat seragam [4].

Adapun kemasan khusus jika diinginkan memerlukan pemesanan dalam jumlah besar karena biaya yang mahal. Jika produk makanan masih sedikit jumlahnya, maka kemasan khusus akan menjadi masalah bagi industri kecil. Saat ini mesin kemasan skala kecil sudah dapat dibeli pada toko mesin industri, hanya saja biaya yang harus dikeluarkan tergolong mahal salah satu alasannya ialah mesin tersebut merupakan produk dari luar Indonesia [5].

Produk-produk yang ada dipasaran sudah sangat beragam mengikuti perkembangan zaman dan minat masyarakat terhadap suatu barang. Saat ini, sebagian besar perusahaan produksi dan manufaktur menggunakan sistem otomatis untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi sumber daya guna mencapai hasil maksimal [6]. Aplikasi sistem otomatisasi terdiri dari otomatisasi tetap dan fleksibel yang menggunakan berbagai teknologi otomasi yang menggabungkan sistem mekanik, elektronik, dan komputerisasi yang ditempatkan sesuai dengan program. [7].

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah menganalisis karakteristik sistem kendali pada mesin plastic vacuum forming dengan menggunakan sistem otomatis dan dapat menghasilkan parameter yang optimal.

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas maka dilakukan penelitian pembuatan mesin plastic vacuum forming otomatis melalui desain alat, pemilihan material, pembuatan dan perakitan alat serta uji coba alat.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian mesin plastic vacuum forming otomatis dilaksanakan di bengkel mekanik Politeknik Negeri Ujung Pandang dengan estimasi waktu pengerjaan selama 7 bulan dimulai dari Februari sampai September. Tahapan penelitian yang dilakukan ialah perancangan, pembuatan, perakitan, pengujian, dan analisa data hasil pengujian.

2.2. Desain alat Plastic Vacuum Forming

Desain konsep penelitian mesin dilakukan dengan mengumpulkan data dan informasi yang terkait melalui jurnal dan bacaan dari perpustakaan maupun e-jurnal guna mendapatkan gambaran konsep dan pandangan mengenai mesin yang akan dibuat. Setelah itu langkah awal yang dilakukan adalah membuat desain mesin plastic vacuum forming menggunakan software Autodesk Fusion 360 [8]. Perancangan adalah suatu proses yang bertujuan untuk menganalisis, menilai memperbaiki dan menyusun suatu sistem, baik sistem fisik maupun non fisik yang optimum untuk waktu yang akan datang dengan memanfaatkan informasi yang ada[9].

2.3. Pembuatan alat Plastic Vacuum Forming

Umumnya peralatan yang digunakan ialah teknologi tepat guna antara lain gerinda tangan, 3D Printer, alat bending, bor duduk, gergaji mesin, mesin las [10]. Bahan yang digunakan terdiri bahan untuk konstruksi sistem mekanik dan sistem kelistrikan dan kontrol. Bahan untuk sistem mekanik besi pelat 2 mm, kayu multipleks, besi hollow 15 x 15 mm, aluminium profile, engsel, baut dan mur, Bearing KLF, dan filamen. Sedangkan bahan untuk sistem kelistrikan dan kontrol yaitu: emergency button, push button switch,, lcd Nextion 2.8 inch,, socket adapter, stepdown LM2596, motor stepper NEMA 23, arduino mega 2560 pro mini, PCB board, tubular heater, motor vacuum, relay, power supply, limit switch, sensor suhu RTD PT100, driver stepper A4988.

Proses pembuatan mesin untuk komponen base, box heater, top plate, corong udara, dan dudukan motor vacuum, dilakukan dengan memotong pelat besi sesuai dengan desain yang telah dibuat, kemudian membending pelat yang telah dipotong sesuai dengan ukuran untuk mendapatkan sudut tekukan [11], kemudian diperakitan dengan proses pengelasan, untuk bezel dibuat dengan menggunakan 3D printing, untuk komponen bed digunakan bor untuk membuat lubang, dan untuk gripper dilakukan pemotongan hollow sesuai dimensi desain dan disambungkan dengan las.

2.4. Pengujian Alat

Untuk mengetahui secara optimal keberhasilan dari mesin plastic vacuum forming otomatis ini, maka dilakukan pengujian. Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa apakah kinerja secara mekanis dari mesin secara aktual sudah sesuai berdasarkan rancangan mekanis yang telah dibuat, dan apakah dapat bekerja secara otomatis dengan bantuan sistem kontrol yang telah diprogram, pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap proses produksi[12], berbagai jenis parameter yang mempengaruhi tingkat keberhasilan produk, dan mengurangi penyebab variabilitas hasil produksi.

Pada pengujian secara mekanis akan dilakukan uji kemampuan pemanasan dari sistem heater dengan menggunakan thermometer sebagai pembanding, dan pengujian terhadap kemampuan vakum sesuai dengan spesifikasi motor vakum dan uji kebocoran ruang vakum, kemudian pada pengujian otomatis akan dilakukan dengan mengamati kesesuaian kinerja alat berdasarkan konsep yang dikontrol oleh sistem otomatis beserta kinerja sensor[13], dan untuk pengujian terhadap hasil produksi akan menggunakan metode Taguchi.

2.5. Analisis Data

Setelah melakukan proses perancangan, pembuatan, perakitan, dan pengujian maka diperoleh data secara kuantitatif dimana yang dimaksud dengan teknik pengumpulan data yang digunakan peneliti untuk mengumpulkan data, informasi, atau fakta yang dapat diukur. Yang akan dianalisis secara deskriptif, data-data yang telah terkumpul akan disusun, diolah dan dianalisis untuk dapat memberikan gambaran dan dijelaskan berdasarkan data dari pengujian mekanis, program dan pengujian dengan penggunaan metode Taguchi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pembuatan Mesin Molding Block

Berdasarkan hasil pembuatan mesin molding block komposit serat sawit seperti pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Mesin Molding Block

Tabel 2. Spesifikasi Alat

No	Komponen	Spesifikasi
1.	Dimensi Alat	Tinggi 1000mm x Lebar 650mm x Berat 61kg
2.	Dudukan Hidrolik	Panjang 650mm x Lebar 240mm x Tebal 10mm
3.	Dudukan Cetakan	Panjang 600mm x lebar 170mm
4.	Press	Tinggi 220mm x Lebar 140mm
5.	Cetakan	Panjang 260mm x Lebar 170mm
6.	Per Baja	Panjang 210mm x Diameter 20mm x Tebal 4mm
7.	Dongkrak Hidrolik	10 Ton

Berikut merupakan hasil yang telah direncanakan dan direalisasikan sebuah mesin *molding block* untuk pembuatan blok komposit berbahan serat kelapa sawit. Mesin ini dirancang sebagai alat bantu dalam proses produksi blok bata komposit, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil cetakan[11]. Dengan memanfaatkan prinsip kerja tekanan, mesin ini menggunakan dongkrak hidrolik sebagai sistem pemadat utama yang berfungsi untuk menekan campuran bahan komposit ke dalam cetakan dengan kekuatan yang stabil dan merata. Selain sistem hidrolik, alat ini juga dilengkapi dengan unit pres dan cetakan yang telah disesuaikan dengan ukuran serta bentuk akhir blok bata yang diinginkan.

3.2. Hasil Pencetakan Bata

Hasil pencetakan dengan menggunakan resin melamine formaldehyde menghasilkan tiga variasi produk, di mana masing-masing melalui proses curing pada suhu berbeda, yaitu 150°C, 180°C, dan 210°C, sehingga memungkinkan diperolehnya karakteristik material yang bervariasi sesuai kondisi perlakuan panas. Sementara itu, hasil pencetakan yang memanfaatkan resin polyester terdiri dari dua jenis formulasi, yaitu campuran resin polyester dengan NaOH serta campuran resin polyester dengan boraks, yang masing-masing diharapkan mampu memberikan perbedaan sifat mekanis maupun ketahanan termal pada produk komposit yang dihasilkan.

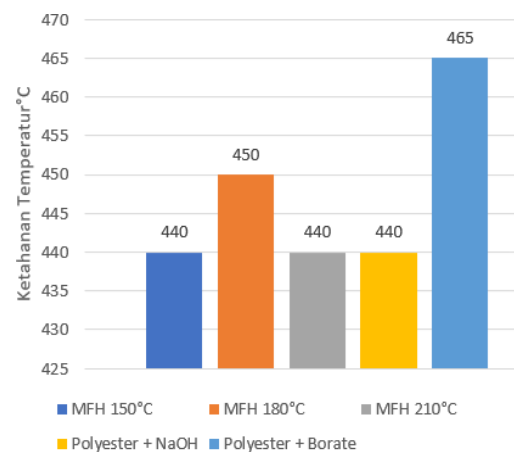
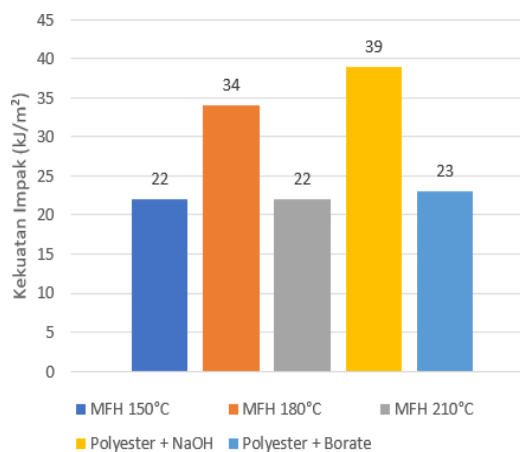
Tabel 3. Hasil Pencetakan Bata

		
Resin MF 150°C	Resin MF 180°C	Resin MF 210°C
		
Resin Polyester + NaOH	Resin Polyester + Na ₂ B ₄ O ₇ 5H ₂ O	

3.3. Hasil Uji Impak & Temperatur

Tabel 4. Hasil uji impak & temperatur

Besaran	Satuan	Resin Melamine Formaldehyde			Resin Poliester	
		Curing 150°C	Curing 180°C	Curing 210°C	NaOH	(Na ₂ B ₄ O ₇ 5H ₂ O)
K Impak	N/mm ²	0.0222	0.0345	0.0222	0.0294	0.0235
awal	kJ/m ²	22.203	34.472	22.204	39.398	23.486
P	kg/cm ²	200	200	200	200	200
T	°C	445°C	450°C	440°C	440°C	465°C
K Impak	N/mm ²	0.0154	0.0190	0.0138	0.0093	0.0098
akhir	kJ/ m ²	15.3597	19.0322	13.8349	9.3100	9.8432



Gambar 2. Hasil Uji Impak & Temperatur

Gambar 2 menunjukkan peningkatan temperatur curing dari 150°C ke 180°C secara signifikan meningkatkan kekuatan impact (Kekuatan impact awal) dari 22.2 menjadi 34.5 kJ/m², yang menunjukkan pembentukan jaringan polimer yang lebih kuat karena reaksi crosslinking yang lebih sempurna. Namun, pada curing 210°C, kekuatan impact kembali turun ke 22.2 kJ/m². Hal ini dapat disebabkan oleh thermal degradation pada temperatur terlalu tinggi, yang menyebabkan retak mikro atau melemahnya ikatan resin-serat. Ketahanan temperatur meningkat sedikit dari 445°C ke 450°C pada 180°C, namun menurun ke 440°C pada curing 210°C, menguatkan dugaan degradasi termal di atas suhu optimal curing.

Dari table juga terlihat bahwa perendaman NaOH meningkatkan kekuatan impact tertinggi (39.4 kJ/m²), melebihi seluruh sampel resin melamin formaldehida. Ini karena NaOH membantu membersihkan lignin/hemiselulosa, memperkuat ikatan matriks-resin. Namun, ketahanan temperatur lebih rendah (440°C) dibandingkan dengan perlakuan sodium borate pentahydrate. Sodium borate pentahydrate menghasilkan ketahanan temperatur tertinggi (465°C), kemungkinan karena sifat retardansi api dari boraks. Namun, kekuatan impactnya relatif lebih rendah (23.5 kJ/m²), hampir setara dengan resin melamin formaldehida pada 150°C/210°C.

Kekuatan impact setelah pemanasan (Kekuatan impact akhir) menunjukkan adanya variasi penurunan kekuatan impact akibat temperature tinggi. Untuk resin melamin formaldehida (suhu curing 180°C) terjadi penurunan kekuatan sebesar 44.78%.

Analisis Perbandingan Sampel

Kekuatan Mekanis Tertinggi: Dicapai oleh komposit polyester + NaOH (39.4 kJ/m²), disebabkan peningkatan adhesi serat akibat perlakuan alkali. Ketahanan Temperatur Tertinggi: Dicapai oleh komposit polyester + sodium borate pentahydrate (465°C), karena sifat retardansi api boraks. Curing Terbaik untuk Melamin Formaldehida: Pada 180°C, di mana performa mekanis dan termal cukup optimal. Kelebihan Melamin Formaldehida: Secara umum menawarkan ketahanan temperatur tinggi, dengan kestabilan termal mendekati polyester dengan sodium borate pentahydrate, walau kekuatan impactnya sedikit lebih rendah dibanding polyester + NaOH.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, dapat disimpulkan bahwa alat pencetak blok komposit serat TKKS yang dibuat memiliki dimensi 23 mm × 11,5 mm × 6,5 mm dan mampu menghasilkan produk komposit dengan ukuran sesuai standar. Proses pencetakan dilakukan menggunakan *pressure gauge* dengan tekanan 5–20 MPa (50–200 kg/cm²) sehingga diperoleh kepadatan campuran dan dimensi cetakan yang optimal. Formulasi material terbaik untuk resin *melamine formaldehyde* (MF) diperoleh pada temperatur curing 180°C, dengan komposisi 1,616 gram resin MF, 28,9 gram serat TKKS, 87 gram abu sekam, serta 822 gram pasir silika. Pada kondisi tersebut, kekuatan impact maksimum tercatat sebesar 34,472 kJ/m² dengan ketahanan panas mencapai 450°C. Sementara itu, pada resin *polyester*, nilai kekuatan impact tertinggi dicapai melalui perlakuan perendaman NaOH, sedangkan ketahanan panas tertinggi diperoleh dari perlakuan *sodium borate* (Na₂B₄O₇·5H₂O) yang mampu bertahan hingga 465°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Novita, M., Jati, P. Z., Ramdani, D., Mahlil, Y., & Zaki, M. (2022). Analisis Potensi Limbah Perkebunan Dan Pengolahan Kelapa Sawit Sebagai Pakan Ternak Di Kabupaten Kampar. *Jurnal Ilmu Pertanian Kelingi(Kelingi Journal Of Agriculture)*.
- [2] Elapri, & Yoel, B. (2023). Analisis Kualitas Produk Botol 30ml Dengan Parameter Temperatur Pada Mesin Injection Molding Model Blow.
- [3] Taufik, I. (2021). Pengaruh Serbuk Grafir Dan Silika Sebagai Matriks Serta Epoxy Sebagai Bahan Pengikat Terhadap Konduktivitas Listrik, Kekasaran Dan Struktur Mikro Pelet Komposit. In Other thesis. Universitas Islam Riau.
- [4] Muhammad, Yusuf, Rahmansyah, Siahaan, Darianto, & Darianto. (2020). Karakteristik Koefisien

- Serap Suara Material Concrete Foam Dicampur Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Metode Impedance Tube.
- [5] K. A. Sumarlin, Sangkala, Zainuddin, Ummu Habibah Gaffar, Sutiharni, Osu Oheoputra Husen, Syifa' Robbani, R. Ayu Cahyaning Alam, Fatria Harwanto, Yoenita Jayadisastra, Rahmat Pramulya, "Minyak Kelapa dan Minyak Sawit: Dampak Kesehatan, Lingkungan, Ekonomi dan Sosial di Balik Produksi," 2019.
 - [6] Shafwan & Husni (2024). Perancangan Dan Pembuatan Alat Cetak Panel Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Pembuatan Plafon. Skripsi Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
 - [7] A. Zubair Sultan, M. A. Suyuti, M. D. Alfara, M. A. Adhani Yunus, and M. Ikhlasul Amal, "Rancang Bangun Mesin Injeksi Plastik dengan Sistem Penekan Pneumatik," *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 19, no. 2, pp. 244–251, 2021, doi: 10.31963/sinergi.v19i2.3387.
 - [8] Nicolas, & Ferdinand. (2022). Perancangan Alat V-Bending Pelat Manual Menggunakan Dongkrak Hidrolik Berkapasitas 5 Ton. Politeknik Negeri Jakarta.
 - [9] Indra Mawardi, Samsul Rizal, Sri Aprilia, and Muhammad Faisal, "Kajian stabilitas termal bahan baku material insulasi panas berbasis serat alam: kayu kelapa sawit dan serat rami," *J. Polimesin*, vol. 19, no. 1, pp. 16–21, 2021, [Online]. Available: <https://ejurnal.pnl.ac.id/index.php/polimesin/article/view/2007>
 - [10] J. S. D. Saputra, A. Mala, R. Aryanto, S. Samhuddin, and A. Aminur, "Pengujian Impak dan Kekerasan Komposit Serat Kelapa Sawit Dengan Matriks Resin Epoksi," *Enthalpy J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 9–16, 2025, doi: 10.55679/enthalpy.v10i1.13.
 - [11] R. Siregar, "Korelasi Besar Temperatur Pemanasan Cetakan terhadap Kualitas Hasil Press Paving Block Berbahan Dasar Sampah Plastik," *FLYWHEEL J. Tek. Mesin Untirta*, vol. V, no. 1, p. 41, 2019, doi: 10.36055/fwl.v0i0.5123.