

# Rancang Bangun Sistem Transmisi Poros Pisau Penghancur Pada Mesin *Crusher Plastik High Density Polyethylene (HDPE)*

Ganjar Pramudi<sup>1,\*</sup>, Farhan Nur Rohman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknologi Rekayasa Manufaktur, Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Kolonel Sutarto 150K, Jebres, Surakarta, Indonesia, 57126

<sup>2</sup>Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Kolonel Sutarto 150K, Jebres, Surakarta, Indonesia, 57126

Email korespondensi: [ganjar.pramudi@staff.uns.ac.id](mailto:ganjar.pramudi@staff.uns.ac.id)

## Abstrak

Jumlah sampah plastik terus meningkat seiring dengan meningkatnya penggunaan produk kemasan plastik. Untuk menanggulangi masalah plastik di Indonesia, salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan mendaur ulang sampah plastik HDPE menjadi serbuk yang dapat dimanfaatkan untuk material komposit. Tahap awal dalam pembuatan serbuk dari sampah plastik HDPE adalah dengan mencacah plastik HDPE menjadi serpihan-serpihan kecil. Serpihan plastik tersebut kemudian digiling hingga menjadi serbuk halus. Mesin penghancur plastik HDPE ini menggunakan tenaga motor listrik berdaya 3 HP dan beroperasi pada kecepatan putar 1400 rpm. Desain bilah pada mesin ini memiliki ciri-ciri bilah yang tajam dan lebar, dengan total bilah berjumlah delapan buah. Selain itu, bodi mesin didesain dengan bentuk yang lebih lebar untuk mengoptimalkan proses penghancuran plastik. Sistem transmisi yang digunakan untuk memindahkan putaran terdiri dari katrol, sabuk V, dan poros. Perencanaan poros yang tepat sangat penting untuk menentukan diameter yang tepat bagi mesin penghancur plastik HDPE. Berdasarkan hasil perencanaan, diameter poros yang dipilih adalah 25 mm, dengan diameter minimum yang dibutuhkan adalah 16,24 mm. Kecepatan putaran akhir poros bilah penghancur adalah 2800 rpm, dengan torsi 13.410 N-mm yang diterapkan pada poros.

**Kata kunci:** Plastik HDPE, Mesin Pencacah, Perancangan Poros, Torsi Poros.

## Abstract

The amount of plastic waste continues to rise alongside the increasing use of plastic packaging products. To mitigate the plastic problem in Indonesia, one approach is to recycle HDPE plastic waste into powder that can be utilized for composite materials. The initial step in producing powder from HDPE plastic waste involves shredding the HDPE plastic into small flakes. These plastic flakes are then ground into fine powder. The HDPE plastic crusher machine is powered by a 3 HP electric motor and operates at a rotational speed of 1400 rpm. The design of the blades on this machine features sharp and wide edges, with a total of eight blades. Additionally, the machine body is designed with a wider shape to optimize the plastic crushing process. The transmission system used to transfer rotation consists of a pulley, V-belt, and shaft. Proper planning of the shaft is essential to determine the appropriate diameter for the HDPE plastic crusher machine. Based on the planning results, the shaft diameter selected is 25 mm, with a minimum required diameter of 16.24 mm. The final rotational speed of the crusher blade shaft is 2800 rpm, with a torque of 13,410 N-mm applied to the shaft.

**Keywords:** HDPE Plastic, Crusher Machine, Shaft Design, Torque Shaft

## 1. Pendahuluan

Jumlah sampah plastik di Indonesia mencapai 5,4 juta ton per tahun dan menduduki peringkat kedua penghasil sampah domestik di dunia [1]. Jumlah sampah plastik tersebut merupakan 14% dari total produksi sampah di Indonesia. Jenis sampah plastik yang banyak ditemui adalah Low Density Polyethylene (LDPE), High Density Polyethylene (HDPE) dan Polypropylene (PP) karena banyak digunakan pada kemasan suatu produk. Plastik yang tidak dikelola dengan baik hingga menumpuk dapat merusak lingkungan dan mengancam kesehatan masyarakat [2]. Saat ini, sampah masih banyak ditimbun di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) serta belum dikelola dengan baik sehingga dapat menimbulkan pencemaran tanah.

Sampah plastik yang ditimbun tidak mudah terurai secara alami. Sampah plastik ini dapat terurai di tanah dalam waktu lebih dari 20 tahun bahkan bisa saja mencapai 100 tahun sehingga dapat menurunkan kesuburan tanah. Lebih parahnya, sampah plastik di perairan akan sulit terurai [3]. Plastik terbuat dari zat-zat petrokimia yang tentunya sangat berbahaya apabila mencemari lingkungan. Penelitian menunjukkan adanya zat-zat kimia berbahaya bagi kehidupan khususnya manusia [4].

Sampah plastik sangat berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan tepat karena sampah plastik sulit untuk terdegradasi. Misalnya, jika plastik hanya ditimbun akan memerlukan ruang atau tempat yang seharusnya dapat digunakan untuk sampah

lain. Kemudian, apabila terjadi kebakaran, sampah plastik dapat membahayakan bagi kesehatan. Selain itu, Penumpukan sampah akan menjadi sarang bagi jentik nyamuk yang akan menimbulkan masalah kesehatan, seperti penyakit DBD pada musim hujan. Dampak lainnya dari penumpukan sampah plastik seperti menurunnya nilai estetika lingkungan, serta mencemari dan mengganggu kondisi perairan [5]. Solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi penimbunan sampah plastik salah satunya mengolah sampah plastik HDPE menjadi material baru.

Prinsip 3R menjadi salah satu upaya yang dapat dilakukan guna mengurangi dampak negatif sampah plastik terhadap lingkungan. 3R adalah reduce (pemakaian), reuse (pemakaian ulang), dan recycle (pendaur ulang) dalam kehidupan sehari-hari [6]. Mengolah sampah yang baik menjadi sebuah solusi untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh sampah. Berbagai kelompok warga dan pemerintah pada saat ini sudah banyak mendaur ulang sampah menjadi sesuatu produk yang tentunya memiliki nilai jual bagi masyarakat [7]. Sampah plastik HDPE dapat dimanfaatkan menjadi material komposit plastik seperti pada lantai, furniture dan yang lainnya. Dalam pembuatan komposit tersebut sampah plastik HDPE harus digiling terlebih dahulu menjadi bentuk serbuk

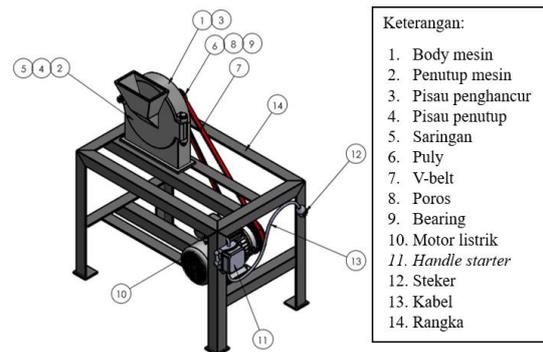
Saat ini, proses penggilingan atau penghancuran plastik masih menggunakan mesin penggiling tepung. Dengan menggunakan mesin tersebut, terdapat berbagai permasalahan yang terjadi pada prosesnya dan kapasitas produksi yang sangat sedikit. Hal ini tentunya disebabkan oleh penggunaan mesin yang tidak semestinya untuk penggilingan plastik berjenis High Density Polyethylene (HDPE). Pada saat mesin crusher digunakan, mesin menimbulkan panas sehingga menyebabkan plastik yang digiling menggumpal di dalam mesin yang berakibat mesin menjadi macet dan perlu didinginkan terlebih dahulu. Hasil dari proses penggilingan plastik selama satu jam hanya sekitar 50 gram serbuk plastik sehingga tingkat efisiensi mesin sangatlah rendah [8]. Dari permasalahan tersebut, maka dibuat mesin penggiling plastik dengan mendesain kembali mesin penggiling tepung yang telah digunakan sebelumnya. Mesin penggiling ini dibuat menggunakan motor listrik untuk memutar puly yang mentransmisikan daya ke puly pada poros pisau [9]. Poros pisau digunakan untuk menyalurkan daya dari puly yang diteruskan ke pisau mesin penggiling plastik dan sebagai tumpuannya [10].

Perancangan poros memerlukan perhitungan matang agar diameter yang digunakan pada poros dapat menahan beban saat mesin bekerja atau pada saat pisau berputar [11]. Selanjutnya, ini dapat menyalurkan daya pada sistem transmisi. Jika poros yang digunakan tidak sesuai, maka putaran poros tidak dapat bekerja secara maksimal dan dapat terjadi kerusakan pada poros itu sendiri. Maka dari itu, diperlukan rancangan poros

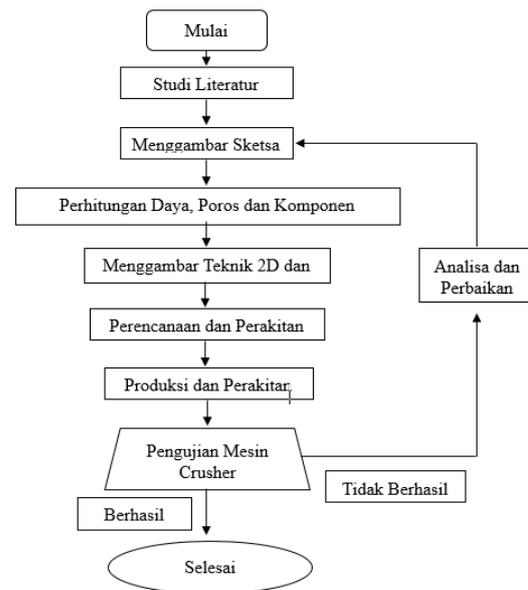
untuk menentukan dimensi dan bahan poros yang akan digunakan pada mesin penggiling plastik ini [12].

## 2. Metode

Mesin *crusher* plastik HDPE dirancang untuk mempermudah proses penggilingan plastik menjadi serbuk sebagai bahan material komposit plastik. Mesin ini digerakkan oleh motor listrik untuk menggerakkan komponen utama mesin yaitu pisau penghancur [13]. Design awal mesin *crusher* yang diilustrasikan seperti pada Gambar 1.



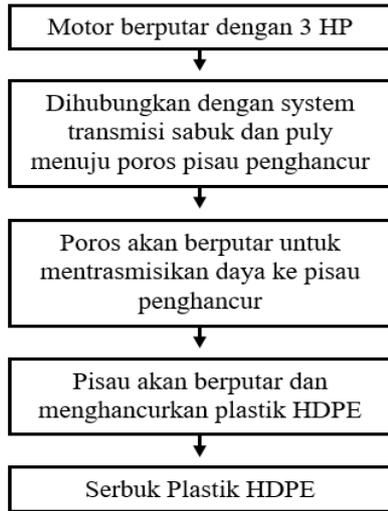
Gambar 1. Design Mesin Crusher



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Poros

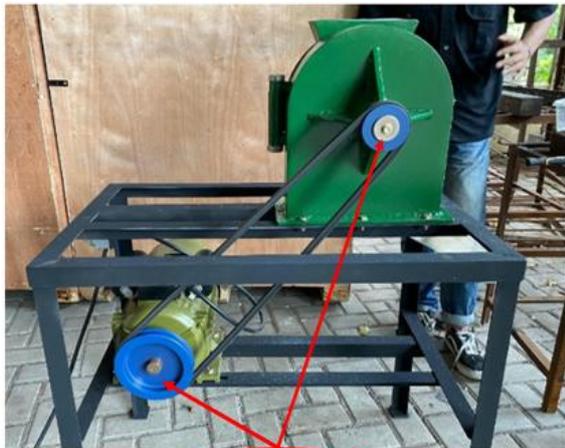
Mesin *crusher* plastik bekerja dengan cara menghancurkan dan memotong plastik menjadi serbuk-serbuk kecil sehingga lebih mudah untuk didaur ulang kembali. Cara kerja mesin crusher plastik HDPE dimulai dari tenaga penggerak yang dihasilkan melalui motor listrik berdaya 3 HP dengan kecepatan putar sebesar 1400 rpm. Daya tersebut kemudian ditransmisikan oleh puly dan sabuk dengan perbandingan 2 : 1. Sistem transmisi mesin *crusher* plastik HDPE terhubung ke poros pisau penghancur. Poros yang digunakan berdiameter 25 mm dan terbuat dari bahan material besi yang mampu untuk mentransmisikan daya dari motor.

Daya yang ditransmisikan poros terhubung ke pisau penghancur sehingga dapat berputar untuk menghancurkan plastik HDPE [14]. Setelah pisau penghancur berputar, potongan plastik dimasukan secara bertahap agar proses penghancuran dapat berjalan dengan lancar dan tidak terjadi penggumpalan plastik. Di dalam mesin terdapat saringan atau mess yang digunakan untuk menyaring plastik yang telah menjadi serbuk. Serbuk plastik akan keluar dari saluran bawah body mesin dan dapat ditampung dengan wadah [15]. Prinsip kerja mesin disajikan dalam grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Prinsip Kerja Mesin

Mesin crusher disajikan pada Gambar 4 tampak belakang. Poros yang di rancang terdapat pada pisau yang mentransmisikan daya dari pully untuk menggerakkan pisau.



Gambar 4. Posisi Poros pada Mesin Crusher

### 3. Hasil dan Pembahasan

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui ukuran poros yang digunakan telah sesuai, sehingga poros dapat berfungsi dengan baik seperti perancangannya. Perhitungan yang dibutuhkan meliputi torsi, gaya yang bekerja, tegangan geser, dan diameter poros [16]. Perhitungan poros dapat dicari dengan data-data sebagai berikut, daya motor (P) 3 HP atau 2237 Watt, kecepatan putaran (N) 1400 rpm, material poros yang digunakan ST 37, tegangan geser ( $\tau$ ) 170 N/mm<sup>2</sup>, tegangan *bending* ( $\sigma_b$ ) 340 N/mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan perhitungan, diketahui  $T_1$  sebesar 192,48 N dan  $T_2$  sebesar 16 N. Untuk mencari gaya pada piringan pisau penghancur dan pully menggunakan persamaan :

$$W_{pisau} = 1,529 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \quad (1)$$

$$W_{puly} = 0,815 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \quad (2)$$

Dari berat pisau dan puli dikalikan gravitasi. Sehingga luas penampang plastik yang akan dipotong ( $A_{plastik}$ ) dicari dengan rumus

$$A_{plastik} = l \times t \quad (3)$$

$$= 6 \times 0,5$$

$$= 3 \text{ mm}^2$$

Kemudian, mencari gaya pada piringan pisau penghancur (F pisau) dengan persamaan :

$$F_{pisau} = (\tau_{plastik} \times A_{plastik}) \times 2 + W_{pisau} \quad (4)$$

$$= (33,1 \times 3) \times 2 + 15$$

$$= 99,3 \times 2 + 15$$

$$= 198,6 + 15$$

$$= 213,6 \text{ N}$$

Selanjutnya adalah mencari gaya pada puli dengan persamaan :

$$F_{puli} = (T_1 - T_2) \times \cos \alpha + W_{puli} \quad (5)$$

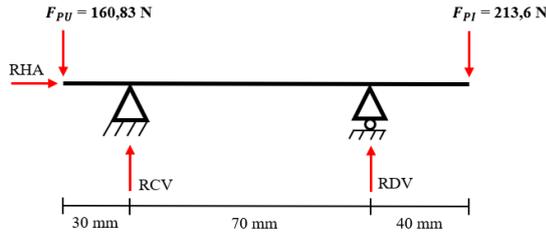
$$= (192,48 - 16) \times \cos 30^\circ + 8$$

$$= (176,48) \times 0,866 + 8$$

$$= 152,83 + 8$$

$$= 160,83 \text{ N}$$

Setelah diketahui momen gaya pully dan piringan pisau penghancur, gambar *free body diagram* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Free Body Diagram (FBD)

Setelah mengetahui *free body diagram* dari arah vertikal, langkah selanjutnya yaitu menentukan reaksi gaya dari arah vertical yaitu,  $R_{AV}$  dan  $R_{CV}$ . Berikut merupakan cara mencari reaksi arah gaya tersebut.

1. Arah Gaya  $R_{CV}$

$$\sum M_D = 0 \tag{6}$$

$$(-F_{Pu} \times 100) + (R_{CV} \times 70) + (F_{Pi} \times 40) = 0$$

$$(-160,83 \times 100) + (R_{CV} \times 70) + (213,6 \times 40) = 0$$

$$-16083 + (R_{CV} \times 70) + 8544 = 0$$

$$(R_{CV} \times 70) - 7539 = 0$$

$$R_{CV} = \frac{7539}{70}$$

$$R_{CV} = 107,7 \text{ N}$$

2. Arah Gaya  $R_{DV}$

$$\sum M_C = 0 \tag{7}$$

$$(-F_{Pu} \times 30) + (-R_{DV} \times 70) + (F_{Pi} \times 110) = 0$$

$$(-160,83 \times 30) + (R_{DV} \times 70) + (213,6 \times 110) = 0$$

$$-4824,9 + (-R_{DV} \times 70) + 23496 = 0$$

$$(R_{DV} \times 70) + 18671,1 = 0$$

$$R_{DV} = \frac{18671,1}{70}$$

$$R_{DV} = 266,73 \text{ N}$$

3. Momen titik  $M_A$

$$M_A = 0 \text{ N/mm} \tag{8}$$

4. Momen Titik  $M_C$

$$M_C = -F_{Pu} \times 30 \tag{9}$$

$$= -160,83 \times 30$$

$$= -4824,9 \text{ N/mm}$$

5. Momen titik  $M_D$

$$M_D = (-F_{pu} \times 30) + (R_{CV} \times 70) \tag{10}$$

$$= (-160,83 \times 100) + (107,7 \times 70)$$

$$= -16083 + 7539$$

$$= -8544 \text{ N/mm}$$

6. Momen titik  $M_B$

$$M_B = (-F_{pu} \times 140) + (R_{CV} \times 110) + (R_{DV} \times 70) \tag{11}$$

$$= (-160,83 \times 140) + (107,7 \times 110) + (266,73 \times 40)$$

$$= -22516,2 + 11847 + 10669,2$$

$$= 0 \text{ N/mm}$$

7. Titik AC ( $V_{AC}$ )

$$V_X = -F_{pu} \tag{12}$$

$$= -160,83 \text{ N}$$

$$V_A = -160,83 \text{ N}$$

$$V_C = -160,83 \text{ N}$$

8. Titik CB ( $V_{CD}$ )

$$V_X = -F_{pu} + R_{CV} \tag{13}$$

$$= -160,83 + 107,7$$

$$= -53,13 \text{ N}$$

$$V_C = -53,13 \text{ N}$$

$$V_D = -53,13 \text{ N}$$

9. Titik CB ( $V_{DB}$ )

$$V_X = -F_{pu} + R_{CV} + R_{DV} \tag{14}$$

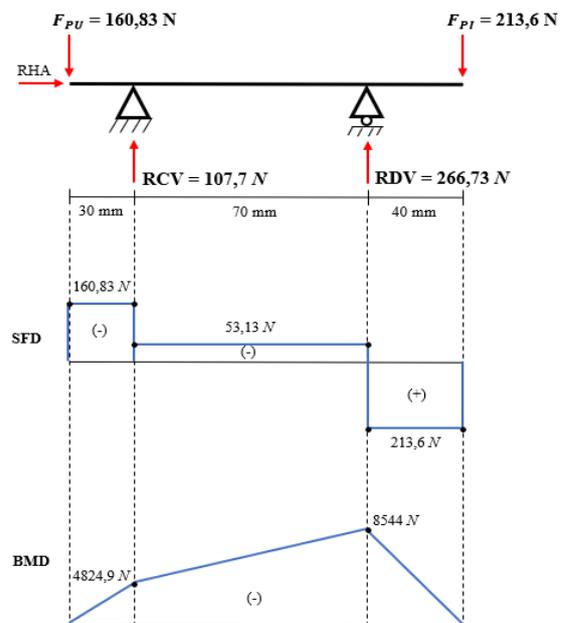
$$= -160,83 + 107,7 + 266,73$$

$$= 213,6 \text{ N}$$

$$V_D = 213,6 \text{ N}$$

$$V_B = 213,6 \text{ N}$$

Setelah didapat moment dan gaya geser disetiap titik, maka dapat membuat *Shear Force Diagram* (SFD) dan *Bending Moment Diagram* (BMD). Dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Bending Moment Diagram (BMD)

Mendapatkan ukuran diameter dari poros, perlu menggunakan beberapa parameter, diantaranya yaitu:

Bahan poros yaitu ST 37, Faktor Momen lentur ( $K_m$ ), Faktor Momen torsi ( $K_t$ ), torsi ( $T$ ), serta momen ( $M$ ). Berikut merupakan perhitungan diameter pada poros pisaupenghancur.

1. Torsi pada Poros ( $T$ )

$$\begin{aligned} T &= (T_1 - T_2) \times r_{puli} & (15) \\ &= (192,48 - 16) \times 76 \\ &= (176,48) \times 76 \\ &= 13410 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

2. Torsi Ekuivalen ( $T_e$ )

$$\begin{aligned} T_e &= \sqrt{(K_m \times M)^2 + (K_t \times T)^2} & (16) \\ &= \sqrt{(2 \times 8544)^2 + (2 \times 13410)^2} \\ &= 31.801,13 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

3. Tegangan Ijin Bahan ( $\tau_a$ )

$$\begin{aligned} \tau_a &= \frac{\sigma_b}{sf_1 \times sf_2} & (17) \\ &= \frac{340}{3 \times 3} \\ &= 37,77 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

4. Diameter Poros

$$\begin{aligned} T_e &= \frac{\pi}{16} \times \tau_a \times d^3 & (18) \\ d &= \sqrt[3]{\frac{16 \times T_e}{\pi \times \tau_a}} \\ d &= \sqrt[3]{\frac{16 \times 31801,13}{3,14 \times 37,72}} \\ d &= 16,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Setelah menghitung perancangan poros didapatkan diameter minimal sebesar  $\varnothing 16,24$  mm. Pada pembuatan mesin *crusher* plastik HDPE menggunakan poros pisau penghancur dengan diameter sebesar  $\varnothing 25$  mm. Maka poros yang digunakan dinyatakan **aman** berdasarkan perhitungan diameter minimal poros.



Gambar 7. Poros Mesin Crusher

Poros yang dihitung merupakan poros yang terdapat pada pisau dan motor. Poros pada motor digunakan untuk menyalurkan daya dari motor ke pulley.

Sedangkan poros pada pisau digunakan untuk memutar pisau. Gambar poros terdapat pada Gambar 7.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari perencanaan dan hasil pengujian mesin *crusher* plastik HDPE didapatkan kesimpulan proses perancangan sistem transmisi poros pisau penghancur mesin *crusher* plastik HDPE menghasilkan kapasitas sebesar 100 g/jam. Beban yang diterima poros sebesar 13410 N.mm dan daya yang ditransmisikan sebesar 2237,1 watt. Berdasarkan perhitungan perencanaan dalam pembuatan poros, untuk jenis material yang digunakan yaitu ST 37 dengan diameter minimum 16,24 mm, sehingga menggunakan poros dengan diameter 25 mm dinyatakan aman saat digunakan. Proses perakitan dan perawatan pada mesin *crusher* plastik HDPE diperlukan perawatan berkala sesuai prosedur yang ditentukan

#### Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan fasilitas untuk melaksanakan perancangan ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., and Law, K. L., 2015, "Plastic Waste Inputs From Land into the Ocean," *Science*, vol. 347, no. 6223, pp. 768-771.
- [2] Raharjo, W., 2015 *Sifat Tarik dan Lentur Komposit rHDPE/Serat Cantula dengan Variasi Panjang Serat*.
- [3] Faustine, V. I., 2022, "UPAYA PENGURANGAN SAMPAH PLASTIK DI LAUT INDONESIA BERDASARKAN KONVENSI BASEL 1980 DALAM RANGKA PEMENUHAN TARGET SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS KE-1," *Jurnal Hukum Internasional*, vol. 8, no. 2.
- [4] Nuruzzaman, W. P., Marianti, M., Zain, A., Putri, D. R., Amara, M., Sukerta, I. M., Heryanto, V., Prihatini, P. J., Swiswidayati, R. D. D., and Rokhmat, J., 2021, "Ecobrick Sebagai Solusi Penanggulangan Sampah Non-Organik Rumah Tangga di Lingkungan Sayo Baru," *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, vol. 4, no. 2.
- [5] Mulasari, S. A. and Sulistyawati, 2014, "KEBERADAAN TPS LEGAL DAN TPS ILEGAL DI KECAMATAN GODEAN KABUPATEN SLEMAN," *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 9, no. 2, pp. 122-130.
- [6] Yusnita, T., Muslikhah, F., and Harahap, M., 2021, "Edukasi Pengelolaan Sampah Plastik Dari Rumah Tangga Menjadi Ecobrick," *El-*

- Mujtama: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 2, pp. 117-126.
- [7] Qomariah, N. and Nursaid, N., 2020, "Sosialisasi Pengurangan Bahan Plastik Di Masyarakat," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Manage*, vol. 1, no. 1.
- [8] Aang Khunaefi, R., dudung, h., syahrul, a., and Tugiman, F., 2023, "PERANCANGAN ULANG CONVEYOR OTOMATIS PADA MESIN PENCACAH BOTOL PLASTIK," *Baut Dan Manufaktur*, no. Vol 5 No 1 (2023): Jurnal Baut Dan Manufaktur Volume 5 No. 1 Tahun 2023, pp. 44-53.
- [9] Selan, R. N., Maliwemu, E. U. K., and Boimau, K., 2021, "PERANCANGAN SISTEM TRANSMISI MESIN PENCACAH SAMPAH PLASTIK DENGAN PUTARAN MESIN 2800 RPM," *Al Jazari - Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1.
- [10] Wensen, H. O., 2021, "Perancangan dan Uji Konstruksi Mesin Pencacah Limbah Plastik Sistem Shredded dan Pisau Pemetong Model Claw Blade," *JURNAL MASINA NIPAKE*, vol. 1, no. 1, pp. 57-68.
- [11] Kuncoro, M. I. A. and Triyono, B. "Perancangan Mesin Pencacah Plastik Portabel Dengan Memanfaatkan Limbah Pegas Daun Kendaraan Sebagai Material Pisau Potong," in *Prosiding 11th Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS)*, 2020, vol. 11
- [12] Yaqin, R. I., Umar, M. L., Pranoto, S. H., Prasetyo, A. B., and Priyambodo, B. H., 2021, "STUDI PERANCANGAN PISAU PADA MESIN PENCACAH PLASTIK MENGGUNAKAN FINITE ELEMENT ANALYSIS," *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*; Vol 7, No 1 (2021): *Jurnal Teknologi Terapan*.
- [13] Masruri, A., Saleh, Z., Satria, Z., and Hastarina, M., 2021, "Perancangan Mesin Pencacah Plastik Skala Laboratorium Dengan Metode Quality Function Deployment (QFD)," *Integrasi : Jurnal Ilmiah Teknik Industri*; Vol 6, No 1 (2021): *Integrasi : Jurnal Ilmiah Teknik Industri*.
- [14] Suhidin, I., Djatmiko, E., and Maulana, E. "Perancangan Mesin Pencacah Plastik Kapasitas 75 Kg/Jam," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, Jakarta, 2020
- [15] Sopyan, D. and Suryadi, D., 2022, "PERANCANGAN MESIN PENCACAH PLASTIK KAPASITAS 25 KG," *Jurnal Media Teknologi*, vol. 6, no. 2, pp. 213-222.
- [16] Khurmi, R. S. and Gupta, J. K., 2005 *A Textbook of Machine Elements and Machines*. John Wiley & Sons, Inc.