

Perancangan Alat Cetak *Interlocking Brick* dengan Memanfaatkan Sampah Plastik HDPE sebagai Material Bata

Rizki Fauzia Muharam¹, Adi Pamungkas²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kab. Bandung Barat, Jawa Barat 40559

¹E-mail : rizki.fauzia.tpk17@polban.ac.id

²E-mail : adi.pamungkas@polban.ac.id

ABSTRAK

Sampah plastik telah menimbulkan permasalahan bagi lingkungan karena sifatnya yang sulit terurai dan tahan lama. Dari semua jenis material sampah plastik yang ada, *polyethylene* adalah jenis plastik yang paling sering ditemukan. Satu-satunya solusi untuk mengurangi sampah plastik yang ada adalah dengan cara daur ulang. Produk daur ulang yang dapat dibuat salah satunya adalah *interlocking brick*. Pembuatan *interlocking brick* dari sampah plastik tentunya membutuhkan pemrosesan yang membuat material plastik meleleh dan bisa dibentuk menjadi *interlocking brick*. Metode pemrosesan yang bisa dilakukan untuk pembuatan *interlocking brick* ini adalah *compression molding*. Sampai saat ini belum ditemukan alat cetak dengan metode *compression molding* yang secara khusus diperuntukan untuk pembuatan *interlocking brick*. Oleh karena itu dibutuhkan rancangan alat cetak dengan metode *compression molding* yang bisa mengolah sampah plastik terutama dari jenis *polyethylene* menjadi *interlocking brick*. Metode perancangan yang digunakan adalah metode Pahl dan Beitz yang terdiri dari tahap merencana, tahap merancang konsep, tahap merancang detail, dan tahap membuat dokumen. Alat dirancang untuk menghasilkan *interlocking brick* dari material cacahan plastik HDPE berukuran $\leq 1 \text{ cm}^2$. Alat mampu untuk memanaskan plastik hingga temperatur 300 °C dan tekanan untuk membentuk plastik hingga 3,5 MPa. Hasil akhir dari rancangan ini adalah berupa gambar kerja dan *bill of material*.

Kata Kunci

Rancangan, *interlocking brick*, *compression molding*, HDPE, sampah plastik

1. PENDAHULUAN

Sampah plastik yang memiliki sifat sulit terurai menimbulkan permasalahan bagi lingkungan. Setiap tahunnya volume sampah plastik terus bertambah karena penanganan sampah plastik yang masih belum maksimal. Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Indonesia, material plastik pada umumnya digunakan untuk keperluan pembuatan kemasan. Jenis material plastik yang paling banyak digunakan untuk pembuatan kemasan adalah polietilen dengan persentase sebesar 28% [1].

Daur ulang menjadi satu-satunya cara untuk mengurangi sampah plastik yang sudah ada. Selain mengurangi jumlah sampah yang ada, daur ulang menghasilkan produk yang bisa menjadi alternatif dari produk sejenisnya. Salah satu produk daur ulang plastik yang sudah beredar saat ini adalah bata. Pembuatan bata dengan material 100 % plastik biasanya menggunakan material plastik dengan jenis HDPE atau PP karena material – material tersebut mudah dilelehkan dan sifatnya yang lumayan kuat.

Bata memiliki berbagai jenis bentuk, salah satunya adalah *interlocking brick*. *Interlocking brick* adalah jenis bata yang bisa dipasangkan tanpa menggunakan mortar karena setiap bata memiliki tonjolan dan rongga sehingga bisa saling mengunci. *Interlocking brick* dari sampah plastik akan menjadi daya tarik karena bentuk

bata dan material yang digunakan berasal dari plastik warna yang beraneka ragam.



Gambar 1 *Interlocking brick*

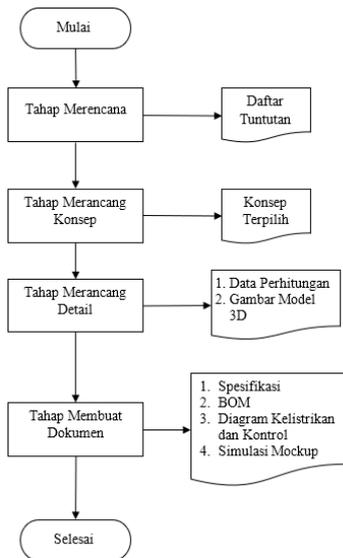
Metode pemrosesan untuk menghasilkan *interlocking brick* dari plastik salah satunya adalah dengan metode *compression molding*. *Compression molding* adalah sebuah metode yang mengkombinasikan pemanasan untuk melelehkan plastik serta penekanan untuk membentuk plastik di dalam sebuah cetakan yang tertutup [2]. *Compression molding* bisa menghasilkan produk dari plastik dengan ketebalan yang lebih bervariasi dibandingkan metode pemrosesan plastik lainnya.

Saat ini belum ada alat yang secara khusus berfungsi untuk menghasilkan *interlocking brick* dari material plastik dengan metode *compression molding*. Oleh karena itu dibutuhkan rancangan alat tersebut supaya bisa direalisasikan dan dapat digunakan untuk menghasilkan *interlocking brick*. Rancangan dari alat

ini diharapkan mendukung program *zero waste* dan perkembangan ilmu serta teknologi di Indonesia.

2. METODOLOGI

Metode perancangan alat cetak *interlocking brick* ini adalah berdasarkan metode dari Pahl dan Beitz. Tahapan dari metode Pahl dan Beitz ini terdiri dari 4 tahapan yaitu tahap merencana, tahap merancang konsep, tahap merancang detail, dan tahap membuat dokumen seperti yang dapat dilihat pada gambar 1 [2].



Gambar 2. Diagram alir proses perancangan

Tahap merencana merupakan tahap mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk merumuskan daftar tuntutan. Data-data tersebut didapatkan setelah dilakukan penjelasan fungsi alat, penjelasan pengoperasian alat, kajian paten/hasil riset, kajian kebutuhan/kecenderungan pasar/pengguna, kajian produk sejenis, dan kajian lingkungan.

Tahap merancang konsep adalah tahapan yang bertujuan untuk mendapatkan konsep sketsa rancangan alat. Konsep didapatkan setelah dilakukan penjelasan fungsi utama, penjelasan fungsi bagian, pembuatan tabel morfologi, pembuatan variasi konsep, dan penilaian dari variasi konsep tersebut. Konsep yang didapatkan merupakan konsep terpilih dari penilaian yang dilakukan berdasarkan *user criteria* dan *manufacturing criteria* terhadap konsep – konsep yang telah dibuat.

Tahap merancang detail adalah tahap untuk merancang secara lebih rinci lagi dari konsep terpilih yang telah didapatkan. Hal – hal yang dilakukan pada tahap merancang detail yaitu penjelasan dan pemilihan komponen standar, proses pembuatan alat, fungsi kontrol dan kendali, kajian ekonomi, kajian perawatan, kajian ergonomi dan estetika, perhitungan kekuatan bahan dan pemanfaatan material, penjelasan sistematika dan pemilihan komponen, serta simulasi numerik CAE.

Tujuan dari perhitungan yang dilakukan adalah untuk memilih komponen yang sesuai. Perhitungan komponen

yang pertama adalah menghitung daya pemanas yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan 1 [3].

$$q = \frac{m(c_p(T_f - T_i) + L)}{\Delta t} \quad (1)$$

q = daya pemanas (W)

m = massa yang dipanaskan (gram)

T_f = temperatur leleh (°C)

T_i = temperatur awal (°C)

L = latent of heat of fusion (J/gram)

Δt = waktu yang diperlukan (sekon)

Perhitungan komponen yang kedua adalah menghitung gaya yang diperlukan untuk mengeluarkan *interlocking brick* dengan menggunakan persamaan 2 [4].

$$F_p = \frac{EA\mu\alpha\Delta T}{\frac{d}{2t}(1 - \frac{m}{2})} \quad (2)$$

F_p = gaya yang diperlukan (N)

E = young modulus (N/cm²)

A = luas permukaan yang bergesekan (cm²)

μ = koefisien gesek

α = koefisien linear expansion (cm/°C)

ΔT = perbedaan temperatur (°C)

d = diameter lingkaran keliling cetakan (cm)

t = tebal (cm)

m = poisson ratio

Perhitungan komponen yang ketiga adalah menghitung tegangan tarik yang dialami pin saat mengeluarkan *interlocking brick* dari cetakan dengan menggunakan persamaan 3.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

σ = tegangan tarik (MPa)

F = gaya yang diperlukan (N)

A = luas permukaan yang dikenai gaya (mm²)

Tahap membuat dokumen adalah tahap pembuatan dokumen-dokumen yang diperlukan untuk proses manufaktur. Dokumen – dokumen yang dimaksud adalah seperti gambar kerja, *bill of material* (BOM), dan standar operasional prosedur (SOP).

3. PROSES DAN HASIL

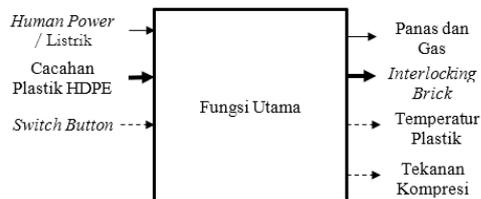
3.1 Daftar Tuntutan

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, daftar tuntutan untuk alat cetak *interlocking brick* ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu memanaskan hingga temperatur 220 °C.
2. Mampu memberikan tekan kompresi hingga 10 kPa.
3. Kapasitas ≥ 1 bata per proses
4. Ukuran bata berdasarkan SNI m-6a
5. Berat < 450 kg
6. Panjang < 1620 mm dan lebar < 1620 mm
7. Tidak menghasilkan gas beracun pada tingkat yang berbahaya
8. Konsumsi daya < 15 kW
9. Harga < Rp.43.000.000

3.2 Konsep Terpilih

Hal pertama yang dilakukan untuk mendapatkan konsep terpilih adalah mendefinisikan fungsi utama alat. Fungsi utama dari alat ini seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.



Keterangan :
 Aliran Material
 Aliran Energi
 Aliran Informasi

Gambar 3. *Blackbox* fungsi utama

Fungsi utama yang telah ditentukan kemudian dipecah menjadi beberapa fungsi bagian. Beberapa fungsi bagian ini dibuat dalam tabel yang berisi alternatif prinsip kerja dari fungsi bagian seperti yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Tabel morfologi

Morfologi			
Produk: Alat Cetak <i>Interlocking Brick</i> dari Material Plastik HDPE			
Fungsi	1	2	3
Menampung Plastik (A)	Langsung pada cetakan	Melalui <i>hopper</i>	
Menekan Plastik (B)	<i>Hydraulic Car Jack</i>	<i>Rack and Gear</i>	<i>Hydraulic Press</i>
Memanaskan Plastik (C)	<i>Strip Heater</i>	Oven	<i>Band Heater</i>
Mengukur Temperatur Plastik (D)	<i>Thermocouple</i>		
Mengubah Temperatur Heater (E)	<i>PID Controller</i>	Arduino	
Mendinginkan Plastik (F)	Udara		
Mengeluarkan <i>Interlocking Brick</i> (G)	<i>Ejector</i>	Melepaskan cetakan dari alat	

Prinsip kerja pada setiap fungsi bagian tersebut kemudian dikombinasikan dengan hasil berupa sketsa konsep. Konsep yang dibuat terdiri dari 4 konsep yang kemudian diseleksi berdasarkan user criteria dan manufacturing criteria. Hasil penilaian berdasarkan user criteria dan manufacturing criteria dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3.

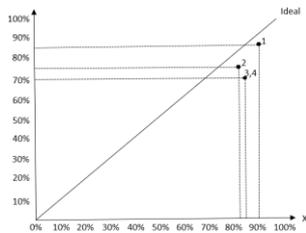
Tabel 2. Penilaian *manufacturing criteria*

No.	<i>Manufacturing Criteria</i>	Importance Rating (W)	Penilaian (Y)				
			K1	K2	K3	K4	Ideal
1	Kemudahan proses manufaktur	20%	4	4	4	4	4
2	Biaya <i>raw material</i> dan komponen standar	20%	3	3	4	4	4
3	Ketersediaan <i>raw material</i> dan komponen standar	40%	4	3	2	2	4
4	Kemudahan pemasangan dan pelepasan komponen	10%	4	4	4	4	4
W x Y			3,4	3	2,8	2,8	4
Persentase Ideal X			85%	75%	70%	70%	100%

Tabel 3. Penilaian *user criteria*

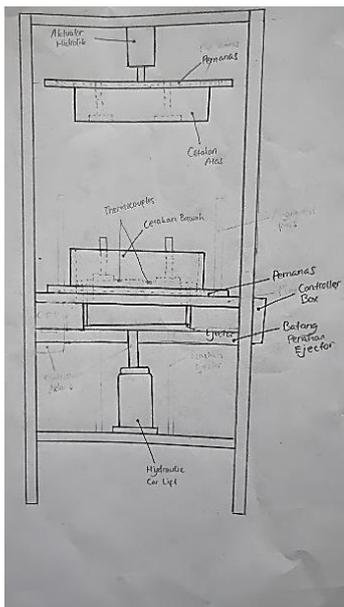
No.	User Criteria	Importance Rating (W)	Penilaian (X)				
			K1	K2	K3	K4	Ideal
1	Memaskan plastik secara cepat	20%	3	2	4	4	4
2	Risiko bahaya yang rendah	20%	4	4	3	3	4
3	Lelehan plastik mengisi seluruh ruang cetakan	40%	4	4	3	3	4
4	Alat mudah digunakan	10%	4	3	4	4	4
5	Cycle time yang cepat	10%	3	2	4	4	4
W x X			3,7	3,3	3,4	3,4	4
Persentase Ideal X			92,5%	82,5%	85%	85%	100%

Dari hasil penilaian konsep tersebut kemudian dibuat grafiknya untuk melihat letak setiap konsep terhadap garis ideal alat seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 4. Grafik penilaian konsep

Grafik penilaian konsep pada gambar 3 menunjukkan bahwa konsep ke-1 adalah konsep yang paling mendekati garis ideal. Oleh karena itu konsep ke-1 menjadi konsep terpilihnya.



Gambar 5. Konsep terpilih

3.3 Pemilihan Komponen dan Material

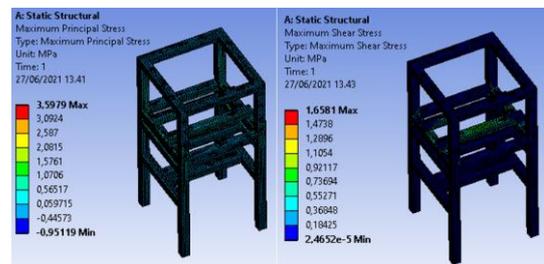
Daya pemanas yang diperlukan dapat dihitung menggunakan persamaan 1. Massa HDPE yang dilelehkan adalah sebesar 1058,5 gram. *Specific heat* dari HDPE adalah sebesar 1,796 J/g°C. Temperatur awal plastik adalah 25 °C. Temperatur leleh plastik adalah 220 °C. *Latent of heat of fusion* dari HDPE adalah sebesar 178,6 J/g. Waktu yang diperlukan untuk melelehkan HDPE adalah selama 2100 sekon. Hasil dari perhitungan menggunakan persamaan 1, diketahui bahwa daya yang diperlukan untuk melelehkan HDPE adalah sebesar 266,44 Watt.

Gaya yang diperlukan oleh dongkrak hidrolik untuk mengeluarkan *interlocking brick* yang sudah terbentuk dapat dihitung menggunakan persamaan 2. *Young modulus* dari HDPE adalah sebesar 100.000 N/cm². Luas permukaan yang bergesekan adalah 325,95 cm². *Poisson ratio* dari HDPE adalah sebesar 0,46. Diameter lingkaran keliling cetakan adalah sebesar 21,645 cm. Koefisien *linier expansion* dari HDPE adalah sebesar 15 x 10⁻⁵ cm°C. Perbedaan temperatur cetakan dan plastik adalah sebesar 40 °C. Tebal *ejector* adalah sebesar 1 cm. Hasil dari perhitungan menggunakan persamaan 2, diketahui bahwa gaya yang diperlukan untuk mengeluarkan *interlocking brick* adalah sebesar 2,8 kN.

Tegangan tarik yang dialami pin saat mengeluarkan *interlocking brick* dapat dihitung menggunakan persamaan 3. Gaya yang dialami pin saat menekan *interlocking brick* adalah sebesar 2,8 kN. Luas yang dikenai gaya adalah 314,16 mm². Hasil dari perhitungan menggunakan persamaan 3, diketahui bahwa tegangan tarik yang terjadi adalah sebesar 8,86 MPa.

3.4 Analisis CAE

Analisis yang dilakukan adalah untuk mengetahui tegangan utama maksimum dan tegangan geser maksimum oleh pembebanan terbesar yaitu ketika silinder hidrolik menekan cacahan plastik pada rangka utama. Rangka terbuat dari batang *hollow* berukuran 50 x 50 x 3 dengan material SS304. Besar pembebanan maksimum pada rangka utama adalah sebesar 837,72 N. Tegangan tarik/tekan izin dan tegangan geser izin yang ditetapkan adalah 126,25 MPa dan 63,24 MPa.



Gambar 6 Analisis Rangka

Dari hasil analisis seperti yang ditunjukkan oleh gambar 5, diketahui bahwa tegangan tarik maksimum dan tegangan geser maksimum yang terjadi pada rangka lebih kecil dari tegangan izinnya yaitu masing – masing

sebesar 3,6 MPa dan 1,7 MPa. Oleh karena itu batang *hollow* dengan material SS 304 aman untuk digunakan.

3.5 Harga Pokok Produksi (HPP)

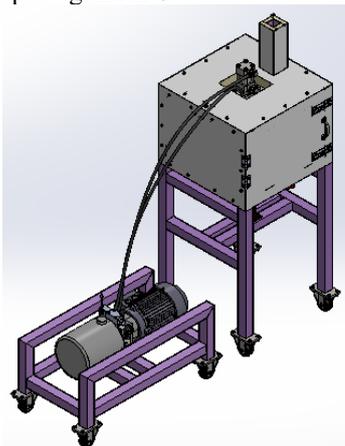
Harga pokok produksi merupakan total biaya yang diperlukan untuk membuat 1 alat. Harga pokok produksi dari alat cetak *interlocking brick* ini adalah sebesar Rp.20.907.535 dengan rincian seperti yang dijelaskan oleh tabel 4.

Tabel 4 Harga pokok produksi

Jenis Biaya	Biaya / Alat (Rp.)
Komponen	20.879.880
Investasi Mesin	5.658
Investasi Alat Penunjang	530
Listrik	584
Pekerja	20.883
HPP	20.907.535

3.6 Model 3D

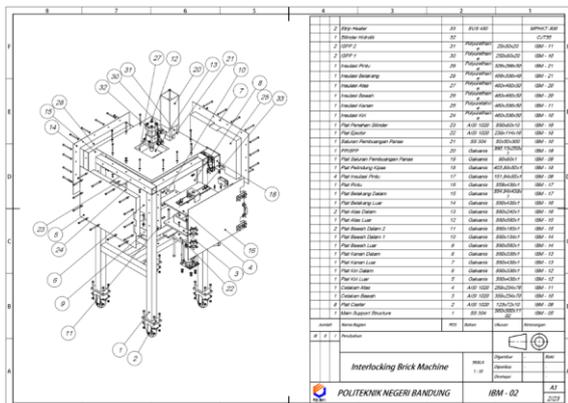
Model 3D alat cetak *interlocking brick* seperti yang dapat dilihat pada gambar 6.



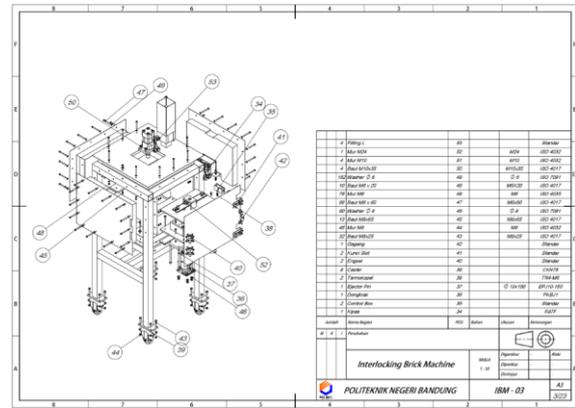
Gambar 7. Alat cetak *interlocking brick*

3.7 Gambar Kerja

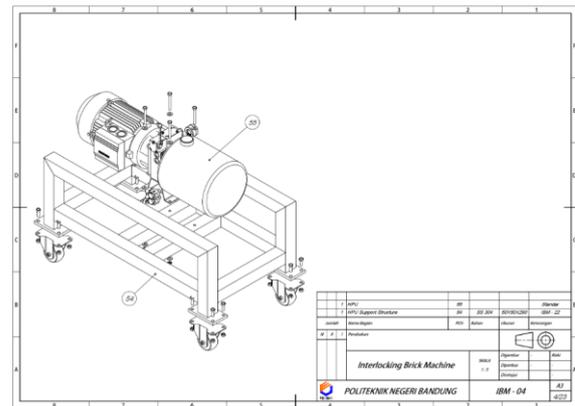
Gambar kerja alat cetak *interlocking brick* seperti yang dapat dilihat pada gambar 7, gambar 8, dan gambar 9.



Gambar 8. Gambar kerja halaman 1



Gambar 9. Gambar kerja halaman 2



Gambar 10. Gambar kerja halaman 3

3.8 Spesifikasi Alat

Alat cetak *interlocking brick* ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Tekanan maksimum : 3,5 MPa
2. Temperatur pemanasan maksimum : 300 °C
3. Laju aliran udara pendinginan : 1,9 m³/menit
4. *Footprint* rakitan utama : 560 mm x 560 mm
5. *Footprint* rakitan HPU : 820 mm x 440 mm
6. Daya HPU : 650 Watt
7. Daya pemanas : 300 Watt
8. Berat : ± 116 kg
9. Kapasitas : 1 bata per proses

4. PEMBAHASAN

Alat ini berfungsi untuk menghasilkan *interlocking brick* dari material input berupa cacahan sampah plastik HDPE. Pemrosesan plastik menggunakan metode *compression molding* yaitu sebuah metode yang menggabungkan proses penekanan untuk membentuk plastik dan proses pelelehan untuk meleburkan semua cacahan plastik. Alat ini mampu menghasilkan tekanan hingga 3,5 MPa dan pemanasan sampai temperatur 300 °C. Alat ini dilengkapi oleh *hydraulic power unit* untuk membangkitkan tekanan pada silinder hidraulik dan menggunakan komponen *strip heater* sebagai pemanas. Alat ini menggunakan mikrokontroler berupa Arduino UNO untuk mengontrol proses pembuatan *interlocking brick*. Alat ini juga dilengkapi oleh kipas yang berfungsi

untuk membantu menurunkan temperatur cetakan ketika pemanasan sudah selesai dengan laju aliran udara sebesar 1,9 m³/menit. Alat ini terdiri dari dua *subassembly* yaitu rakitan utama yang memiliki *footprint* 560 mm x 560 mm dan rakitan HPU yang memiliki *footprint* 820 mm x 440 mm. Alat ini dilengkapi oleh insulasi berupa busa *polyurethane* yang berfungsi untuk memperlambat laju aliran panas ke plat bagian luar ruang pemanasan. *Interlocking brick* yang dihasilkan memiliki dimensi 230 mm x 110 mm x 52 mm yang sesuai dengan SNI m-6a.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Perancangan alat cetak *intelocking brick* ini telah menghasilkan daftar tuntutan, konsep terpilih, dan dokumen. Spesifikasi rancangan alat yang dihasilkan telah memenuhi daftar tuntutan yang telah ditetapkan. Alat ini mampu menghasilkan tekanan sebesar 10 kPa. Alat ini juga mampu untuk menghasilkan pemanasan pada temperatur 220 °C. Berat alat ini juga < 450 kg yaitu sebesar ± 116 kg. Harga alat yang ditetapkan juga bisa < Rp.43.000.000 karena harga pokok produksi dari alat cetak *interlocking brick* ini adalah Rp.20.907.535. Ukuran bata yang dihasilkan berdasarkan SNI m-6a yaitu 230 mm x 110 mm x 52 mm. Proses pemanasan plastik tidak menghasilkan gas beracun pada tingkat berbahaya karena cetakan dan ruang pemanasan dirancang secara tertutup.

5.1 Saran

Alat cetak *interlocking brick* dari material plastik HDPE dengan metode *compression molding* ini merupakan sesuatu yang baru. Oleh karena itu diperlukan realisasi berupa pembuatan purwarupa untuk menguji kualitas dari alat ini. Pengujian diperlukan terutama untuk mengetahui kualitas dari *interlocking brick* yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. A. Hidayat, S. Kiranamahsa dan M. A. Zamal, "A Study of Plastic Waste Management Effectiveness in Indonesia Industries," 2019.
- [2] Habibi, "PERANCANGAN MESIN COMPRESSION MOLDING UNTUK MEMBUAT PRODUK RUBBER SKALA HOME INDUSTRY," Universitas Muhamadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, 2017.
- [3] G. Pahl dan W. Beitz, *Engineering Design : a Systematic Approach*, London: Springer, 2007.
- [4] RIT MULTIDISCIPLINARY ENGINEERING, "Preliminary Detailed Design," [Online]. Available: <http://edge.rit.edu/content/P18433/public/Preliminary%20Detailed%20Design>. [Diakses 2021 Juli 18].
- [5] WALSH'S PLASTIC CONSULTING, "How to calculate the Ejection Force," [Online]. Available: <https://plasticmolddesign.wordpress.com/how-to-calculate-the-ejection-force/>. [Diakses 18 Juli 2021].