

## Analisis Desain Cetakan Paving Blok *Hexagonal*

Bagas Adi Saputro<sup>1</sup>, Muhamad Yunus<sup>1</sup>, Zulfan Yus Andi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

\*E-mail : pakaceng54@gmail.com

Received 3 Desember 2025; Received in revised form 29 Desember 2025; Accepted 31 Desember 2025

### Abstract

Plastic molds offer lighter weight, ease of design modification, and the ability to produce very large quantities of products due to the ability to cast with multiple molds simultaneously. However, they are susceptible to thermal deformation due to pressure during the casting process. This condition can cause dimensional deviations outside the tolerance limits set by the British Standards Institution (BSI), which is  $\pm 2$  mm. This research focuses on the design analysis of hexagonal paving block molds made of Polypropylene (PP) using the SolidWorks Simulation approach to evaluate the effect of variations in the number of reinforcements (ribs) on the deformation and stiffness of the mold design. Paving block models have four design configurations: no ribs, one rib, two ribs, and three ribs. The analysis results show that all designs are still within the maximum deformation tolerance limit, but increasing the number of ribs significantly increases stiffness and decreases total deformation. The three-rib configuration produces a minimum deformation of 0.5059 mm, making it the most optimal design in maintaining mold dimensional stability. This research provides a scientific basis for the development of optimal, precise, and BSI-standardized paving block molds with Polypropylene material for mass production of paving blocks.

**Keywords:** Injection Mold; Optimization; Paving Blocks; Polypropylene; SolidWorks Simulation.

### Abstrak

Cetakan berbahan plastik menawarkan bobot yang lebih ringan, kemudahan modifikasi desain, jumlah produk yang dihasilkan bisa sangat banyak karena bisa cetak dengan banyak cetakan sekaligus, namun rentan terhadap deformasi termal akibat tekanan pada saat proses pengecoran. Kondisi ini dapat menyebabkan penyimpangan dimensi di luar batas toleransi yang ditetapkan oleh *British Standards Institution*(BSI), yaitu  $\pm 2$  mm. Penelitian ini difokuskan pada analisis desain cetakan paving block heksagonal berbahan *Polypropylene*(PP) dengan pendekatan *SolidWorks Simulation* untuk mengevaluasi pengaruh variasi jumlah tulangan (rib) terhadap deformasi dan kekakuan desain cetakan. Model paving blok memiliki empat konfigurasi desain: tanpa rib, satu rib, dua rib, dan tiga rib. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh desain masih berada dalam batas toleransi deformasi maksimum, namun peningkatan jumlah rib secara signifikan meningkatkan kekakuan dan menurunkan deformasi total. Konfigurasi tiga rib menghasilkan deformasi minimum sebesar 0,5059 mm, menjadikannya desain paling optimal dalam menjaga stabilitas dimensi cetakan. Penelitian ini memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan cetakan paving blok dengan material *Polypropylene* yang optimal, presisi, dan sesuai standar BSI untuk produksi massal *paving block*.

**Kata kunci:** Cetakan Injeksi; Optimasi; *Paving Block*; *Polypropylene*; Simulasi *SolidWorks*.

## 1. PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur paving block, kualitas struktural produk sangat bergantung pada desain dan performa cetakan yang digunakan [1]. Cetakan logam seperti baja dan aluminium memiliki keunggulan dalam kekuatan mekanik serta ketahanan aus, namun bobot yang berat, pendinginan yang lambat, dan keterbatasan

fleksibilitas desain menjadi kendala pada produksi massal dan variasi bentuk geometrik seperti paving hexagonal [2][3]. Sebagai alternatif, cetakan berbahan plastik menawarkan keunggulan berupa bobot ringan dan kemudahan modifikasi desain yang memungkinkan peningkatan efisiensi produksi [4]. Meskipun demikian, cetakan plastik rentan mengalami deformasi termal akibat tekanan

dan perubahan suhu selama proses pengecoran campuran semen, yang dapat mengakibatkan penyimpangan dimensi di luar batas toleransi yang ditetapkan oleh *British Standards Institution* (BSI) [5].

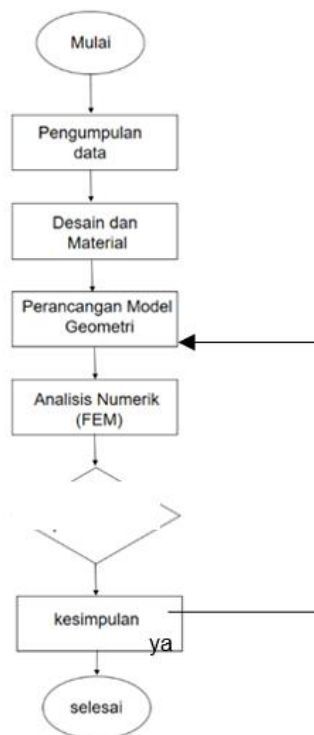
Fenomena deformasi tersebut berdampak langsung terhadap bentuk dimensi paving block yang dihasilkan, terutama pada area sisi dinding dan permukaan bawah yang menerima tekanan beban saat pengecoran berlangsung. Berdasarkan pengamatan lapangan, cetakan plastik yang diperoleh dari pemasok eksternal sering kali gagal mempertahankan kestabilan bentuk setelah proses pengecoran berlangsung, menyebabkan penurunan presisi dimensi dan kualitas produk [6][7]. Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan desain cetakan internal yang baik dan sesuai dengan standar nasional maupun internasional [8]

Penelitian ini memusatkan perhatian pada analisis integritas struktural blok paving hexagonal berbahan *Polypropylene* (PP)

dengan pendekatan *SolidWorks Simulation* untuk mengevaluasi deformasi dan stabilitas struktural akibat variasi konfigurasi tulangan (rib). Model 3d dibangun menggunakan *SolidWorks Simulation* guna memprediksi distribusi tegangan, serta deformasi maksimum pada tiga konfigurasi desain: tanpa rib, satu rib, dua rib, dan tiga rib [9]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan jumlah rib secara signifikan meningkatkan kekakuan dan menurunkan deformasi total, dengan konfigurasi tiga rib menghasilkan performa paling stabil terhadap beban mekanik dan tekanan termal [10]. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan dasar ilmiah untuk desain *paving block Polypropylene* yang lebih optimal, dan memiliki kekuatan sesuai toleransi BSI.

## 2. METODE PENELITIAN

Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Desain dan material, meliputi dimensi geometrik blok paving hexagonal, pemilihan material *Polypropylene* (PP), dan penerapan batas toleransi dimensi sesuai standar *British Standards Institution* (BSI), yaitu  $\pm 2$  mm. Sifat mekanik material, seperti modulus elastisitas, rasio Poisson, dan densitas, diinput ke dalam model untuk memastikan kesesuaian antara

simulasi dan kondisi nyata. Berikutnya adalah perancangan model geometri dan variasi tulangan (rib) menggunakan perangkat lunak *SolidWorks CAD*. Model tiga dimensi paving block dibuat dalam empat variasi konfigurasi, yaitu tanpa rib, satu rib, dua rib, dan tiga rib. Setiap model dirancang dengan dimensi dan ketebalan yang identik, sehingga perbedaan

hasil analisis dapat diatribusikan secara langsung pada variasi jumlah rib. Tujuan dari tahap ini adalah mengevaluasi pengaruh penambahan rib terhadap deformasi dan distribusi tegangan pada struktur paving block. Proses utama penelitian adalah analisis menggunakan metode *SolidWorks* Simulation. Analisis difokuskan pada respons dinding cetakan akibat tekanan tekan statik yang mewakili kondisi pembebanan aktual di lapangan. Parameter yang diamati dalam simulasi ini meliputi deformasi total (displacement) untuk menilai kestabilan bentuk, untuk mengidentifikasi area konsentrasi tegangan, serta perbandingan kekakuan struktural antarvariasi desain rib. Proses analisis ini menghasilkan data yang menggambarkan hubungan antara jumlah rib dan kestabilan dimensi *paving blok* [13].

Tahap terakhir adalah evaluasi hasil dan penentuan konfigurasi optimal, yang dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi antarvariasi desain. Berdasarkan hasil analisis, penambahan jumlah rib terbukti meningkatkan kekakuan struktural dan mengurangi deformasi total. Dari keempat model yang diuji, konfigurasi dengan tiga rib menunjukkan performa paling optimal dalam menjaga kestabilan dimensi dan integritas struktural produk sesuai dengan batas toleransi yang ditetapkan [14].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

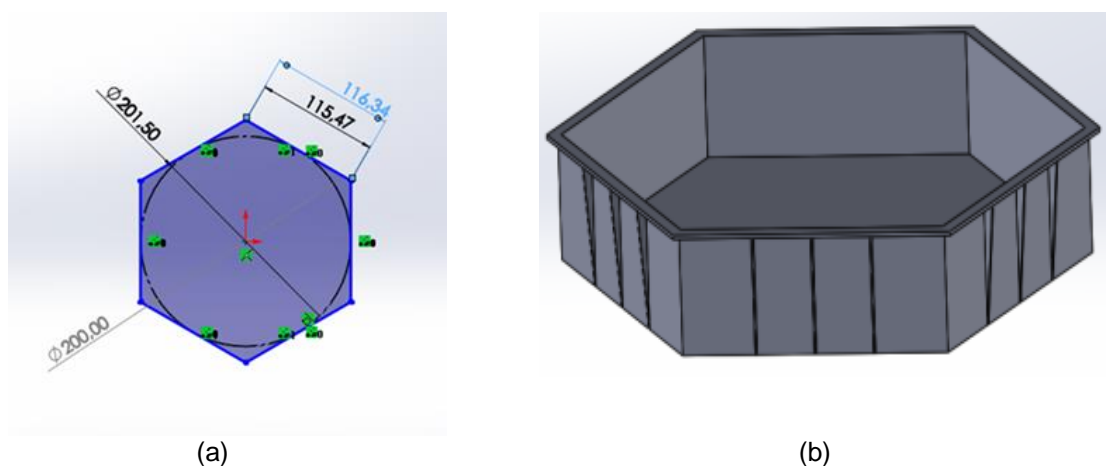
#### 3.1. Desain dan Material Produk

Pada sub bab ini diberikan hasil dan analisis suatu variabel 1 terhadap sistem yang

diteliti. Hasil pengolahan data penelitian dapat disajikan dalam tabel dan/atau grafik untuk mempermudah pembaca memahami hasil penelitian. Tahap awal penelitian dimulai dengan pengembangan sketsa paving block yang dilakukan berdasarkan hasil wawancara dan diskusi teknis bersama pihak PT Tacon Indonesia. Sketsa tersebut dirancang mengikuti geometri heksagonal (bersisi enam) dengan dimensi  $20 \times 20 \times 6$  cm, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2(a), yang memperlihatkan hasil pembuatan sketsa awal serta penentuan ukuran dasar produk.

Setelah desain sketsa dan dimensi dikonfirmasi, dilakukan pemodelan tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD), yaitu *SolidWorks*. Model 3D ini memungkinkan visualisasi geometri produk secara akurat, termasuk ketebalan, sambungan antar-sisi, serta posisi tulangan (rib) yang akan dianalisis. Model tersebut kemudian digunakan sebagai fondasi untuk tahap analisis elemen hingga pada proses simulasi tekanan yang terjadi pada dinding *paving block*.

Material utama yang digunakan dalam desain produk ini adalah Polypropylene (PP). Pemilihan material ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain kemampuan cetak yang baik, karakteristik aliran yang stabil di dalam rongga cetakan, kekakuan yang memadai, serta ketahanan terhadap deformasi akibat tekanan mekanik maupun termal [15], [16], [17], [18]. pada Gambar 2(b), papemodelan paving block tiga dimensi



Gambar 2. (a) pembuatan sketsa awal (b) pemodelan paving block tiga dimensi (3D)

3.2. Analisa SolidWorks Simulation

Tabel 1. Parameter

Simbol	Parameter	Nilai
S	Panjang sisi	115mm
h	Tinggi dinding	60mm
A	Luas total	0.0414m <sup>2</sup>
$\rho$	Tekanan	2400kg/m <sup>3</sup>
g	Percepatan gravitasi	9.81m/s <sup>2</sup>

Tahap ini melibatkan perhitungan tekanan yang bekerja pada dinding cetakan paving block selama proses pengecoran. Rongga cetakan dirancang berbentuk heksagonal dengan parameter geometrik sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan parameter tersebut, tekanan maksimum pada dasar dinding cetakan dihitung menggunakan persamaan hidrostatik pada persamaan 1

$$\rho_{maks} = \rho \cdot g \cdot h = 2400 \times 9.81 \times 0.06 = 1411.68 \text{ Pa} \dots\dots\dots(1)$$

Karena tekanan meningkat secara linier dari nol di bagian atas hingga P maks di

bagian dasar, maka gaya hidrostatik total yang bekerja pada dinding cetakan dinyatakan dengan persamaan 2.

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho_{maks} \cdot A = \frac{1}{2} \times 1411.68 \times 0,0414 \text{ m}^2 = 29,22 \text{ N} \dots\dots\dots(2)$$

Oleh karena itu, total gaya hidrostatik yang bekerja pada dinding cetakan adalah sekitar 29,22 Newton. Nilai ini berfungsi sebagai referensi penting untuk menentukan ketebalan dinding cetakan guna memastikannya dapat menahan beban yang diberikan tanpa deformasi atau retak selama proses produksi.

lebih tinggi akibat rendahnya kekakuan dinding.

Pada model dengan satu rib penguat, yang memiliki ketebalan dinding 1,9 mm dan dimensi 201,9 x 201,9 x 61,9 mm, deformasi maksimum menurun secara signifikan menjadi 0,5282 mm, menandakan peningkatan kekakuan struktural (Gambar 3(b)).

Setelah dilakukan perhitungan tekanan yang bekerja pada setiap sisi dinding cetakan, tahap selanjutnya adalah analisis deformasi menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Simulation* dengan empat konfigurasi desain cetakan, yaitu model tanpa tulangan (rib), serta model dengan satu, dua, dan tiga rib penguat.

Sementara itu, model cetakan dengan dua rib (ketebalan dinding 1,5 mm, dimensi 201,7 x 201,7 x 61,7 mm) menunjukkan deformasi maksimum sebesar 0,5947 mm, sedikit lebih tinggi dibandingkan model satu rib namun tetap jauh di bawah batas toleransi BSI (Gambar 3(c)).

Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan rib terhadap kekakuan struktural dan stabilitas dimensi cetakan di bawah kondisi beban statik. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memastikan bahwa deformasi yang terjadi pada cetakan tetap berada dalam batas toleransi yang diizinkan oleh British Standards Institution (BSI), yaitu sebesar ±2 mm [19].

Konfigurasi tiga rib yang memiliki ketebalan dinding 1,5 mm dan dimensi 201,5 x 201,5 x 61,9 mm menghasilkan deformasi minimum sebesar 0,5059 mm, yang menunjukkan performa struktural paling optimal di antara seluruh model yang diuji. Hasil ini menegaskan bahwa penambahan tiga rib pada desain cetakan efektif dalam meningkatkan kekakuan struktural, menjaga stabilitas dimensi, dan meminimalkan deformasi selama proses produksi

Hasil simulasi deformasi statik pada model cetakan tanpa rib dengan ketebalan dinding 2 mm dan dimensi 202 x 202 x 62 mm menunjukkan deformasi maksimum sebesar 1,157 mm (Gambar 3(a)). Nilai ini masih berada dalam batas toleransi, namun menunjukkan kecenderungan deformasi yang

Hasil analisis deformasi menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) menunjukkan bahwa seluruh alternatif desain cetakan baik tanpa rib maupun dengan penambahan satu, dua, dan tiga rib masih berada dalam batas toleransi

deformasi maksimum sebesar  $\pm 2$  mm sesuai standar British Standards Institution (BSI). Namun, dari segi kekakuan struktural, desain tanpa rib menunjukkan nilai deformasi tertinggi yaitu 1,157 mm, yang menandakan bahwa konfigurasi tersebut kurang optimal untuk digunakan dalam produksi.

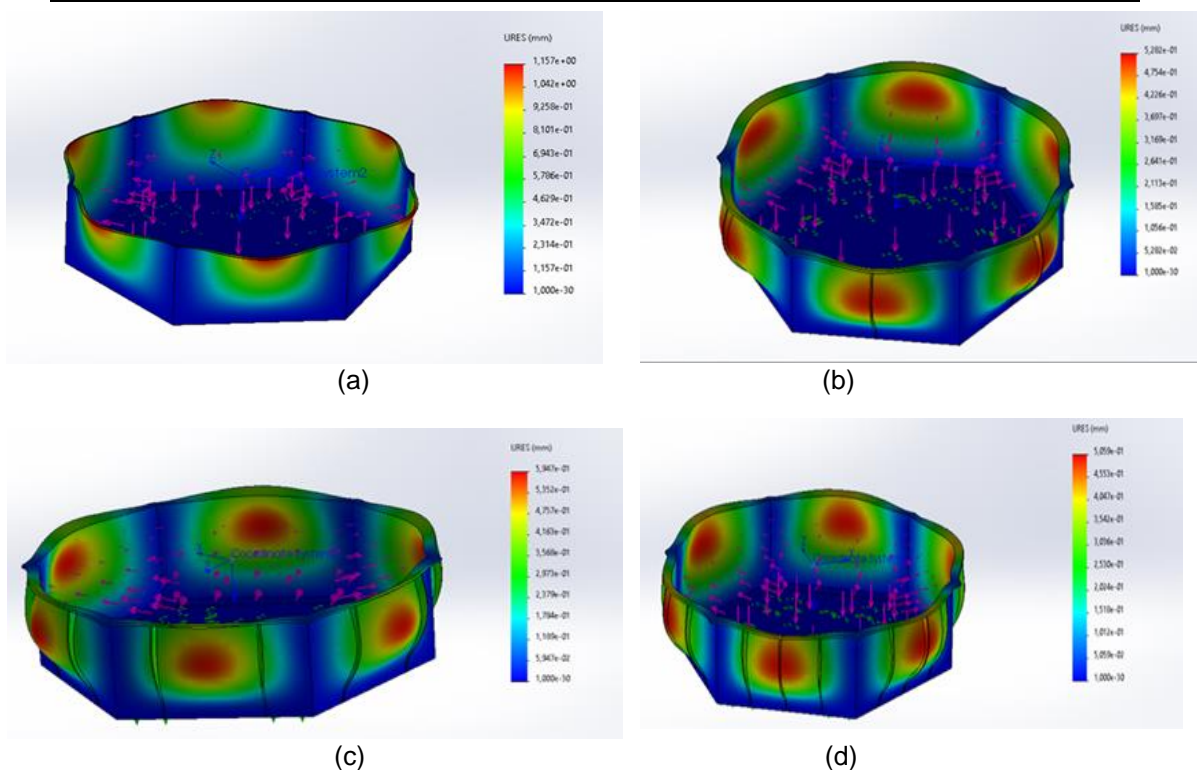
Desain cetakan dengan satu rib dan dua rib memperlihatkan peningkatan kinerja struktural dengan penurunan nilai deformasi dibandingkan model tanpa rib, meskipun penurunan deformasi tersebut tidak menunjukkan pola yang sepenuhnya konsisten

antarvariasi. Sementara itu, desain dengan tiga rib dan ketebalan dinding 1,5 mm menghasilkan performa terbaik, dengan deformasi maksimum hanya sebesar 0,5059 mm serta distribusi kekakuan yang lebih merata di seluruh struktur cetakan.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa desain cetakan dengan tiga rib merupakan konfigurasi paling optimal, karena mampu memberikan stabilitas dimensi yang tinggi dan meningkatkan integritas struktural cetakan selama proses produksi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis deformasi dinding cetakan

Konfigurasi	Ketebalan dinding(mm)	Dimensi(mm)	Deformasi
0 rib	2.0	202 × 202 × 62	1.157
1 rib	1.9	201.9 × 201.9 × 61.9	0.5282
2 rib	1.7	201.7 × 201.7 × 61.7	0.5947
3 rib	1.5	201. × 201.5 × 61.5	0.5059



Gambar 3. (a) Paving blok tanpa rib, (b) Paving blok 1 rib, (c) Paving blok 2 rib (d) Paving blok 3 rib

#### 4. SIMPULAN

Penelitian ini mampu merancang dan menganalisis cetakan paving block heksagonal berbahan Polypropylene (PP) dengan fokus pada optimasi jumlah tulangan (rib) menggunakan integrasi *Computer-Aided Design* (CAD) dan *Computer-Aided Engineering* (CAE) berbasis Metode Elemen Hingga (FEM).

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh variasi desain cetakan—tanpa rib, satu rib, dua rib, dan tiga rib—masih berada dalam batas toleransi deformasi maksimum sebesar  $\pm 2$  mm sesuai standar British Standards Institution (BSI). Namun demikian, terdapat perbedaan signifikan dalam nilai deformasi antarvariasi. Model tanpa rib menunjukkan deformasi tertinggi sebesar 1,157 mm, sedangkan penambahan rib

mampu meningkatkan kekakuan dan menurunkan deformasi total.

Konfigurasi tiga rib menghasilkan deformasi minimum sebesar 0,5059 mm, yang menunjukkan performa struktural paling optimal di antara seluruh model yang diuji. Hasil ini menegaskan bahwa penambahan tiga rib pada desain cetakan efektif dalam meningkatkan kekakuan struktural, menjaga stabilitas dimensi, dan meminimalkan deformasi selama proses produksi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Nofrianto and H. Hutrio, "Analisis Mutu Paving Block Dengan Variasi Agregat Halus," *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, vol. 1, no. 1, pp. 54–62, Jan. 2023, doi: 10.21063/jtv.2023.1.1.8.
- [2] S. Irawan, "Soldering Casting Aluminium alloy Al-Si-CU Pada inti Cetakan Logam Baja pada Proses Mesin Cor Cetak Tekan," *All Fields of Science Journal Liaison Academia and Society*, vol. 2, no. 1, pp. 469–483, Apr. 2022, doi: 10.58939/afosj-las.v2i1.178.
- [3] S. M. Pamungkas and M. A. Putra, "Analisis Efisiensi dengan Pengurangan Downtime dalam Proses Produksi Gravity Casting," *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 14, no. 1, Jul. 2025, doi: 10.24127/trb.v14i1.3997.
- [4] Supandi, A. Gamayel, Kasum, S. Mulyono, and M. Zaenudin, "Analisis Cetakan Plastik Injeksi Spesimen Uji Tarik Melalui Simulasi Plastik Injeksi Menggunakan Autodesk Fusion 360," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 9, no. 1, pp. 46–54, Jun. 2024, doi: 10.20527/sjmekinematika.v9i1.278.
- [5] P. Sembiring, E. R. Girsang, D. P. Ginting, and T. Hermanto, "Proses Pengecoran Logam Menggunakan Media Cetakan Plastisin Dengan Bahan Timah," *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, vol. 3, no. 2, pp. 48–53, Aug. 2024, doi: 10.56862/irajtma.v3i2.117.
- [6] K. Usman, D. I. Kusumastuti, E. P. Wahono, and A. Zakaria, "Peningkatan Pengetahuan Santri Pondok Pesantren Tentang Pembuatan Paving Blok Dengan Campuran Bahan Limbah Plastik," *Nemui Nyimah*, vol. 1, no. 1, Apr. 2021, doi: 10.23960/nm.v1i1.22.
- [7] Radita Dwi Putera, Dewi Anggun Rahmawati, and Ameliyana Rizky Syamara Putri Akhmad Yani, "Total Productive Maintenance pada Mesin Press Paving Block: Analisis OEE, Six Big Losses, dan FMEA," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 4, no. 3, pp. 671–685, Jul. 2025, doi: 10.55826/jtmit.v4i3.860.
- [8] E. Suhelmidawati, "Pemanfaatan Pasir/Kerikil Sisa Penambangan Batu Kapur Pada Campuran Paving Block," *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, vol. 17, no. 1, p. 17, Feb. 2022, doi: 10.30630/jipr.17.1.211.
- [9] S.- Suwantri, "Analisis Kerangka Mesin Hot press Plastik Berbasis Simulasi," *Suara Teknik : Jurnal Ilmiah*, vol. 13, no. 1, p. 19, Jul. 2022, doi: 10.29406/stek.v13i1.3961.
- [10] S. Tembhare and Dr. S. N. Waghmare, "Designing of Mold Tool and Enhancing Product Quality with Mold Flow Analysis in Blow Molding: A Review," *Interantional Journal Of Scientific Research In Engineering And Management*, vol. 09, no. 04, pp. 1–9, Apr. 2025, doi: 10.55041/IJSREM44227.
- [11] I. Adiasa, Aldrin, R. Fauzi, and F. Lestari, "Perancangan Alat Pembuat Paving Block Dari Limbah Sampah Plastik Dengan Menggunakan Pendekatan Ergonomi Dan Metode Kansei Engineering," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 11, no. 3, pp. 240–252, Mar. 2024, doi: 10.24912/jitiuntar.v11i3.26296.
- [12] S. Sharma Maraseni *et al.*, "Eco-Friendly Paver Block: Comparative Study by Composition Review," *OCEM Journal of Management, Technology & Social Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 144–154, Jan. 2025, doi: 10.3126/ocemjmtss.v4i1.74757.
- [13] K. Vardaan and P. Kumar, "Design, analysis, and optimization of thresher machine flywheel using Solidworks simulation," *Mater Today Proc*, vol. 56, pp. 3651–3655, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.348.
- [14] B. Solanki, H. Singh, and T. Sheorey, "Experimental And Numerical Studies of Shrinkage and Sink Marks On Injection Molded Polymer Gears," May 26, 2021. doi: 10.21203/rs.3.rs-421891/v1.
- [15] D.-C. Chen, D.-F. Chen, S.-M. Huang, and W.-J. Shyr, "The Investigation of Key Factors in Polypropylene Extrusion Molding Production Quality," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 10, p. 5122, May 2022, doi: 10.3390/app12105122.

- [16] P.-W. Huang and H.-S. Peng, "Number of Times Recycled and Its Effect on the Recyclability, Fluidity and Tensile Properties of Polypropylene Injection Molded Parts," *Sustainability*, vol. 13, no. 19, p. 11085, Oct. 2021, doi: 10.3390/su131911085.
- [17] P.-W. Huang, H.-S. Peng, S.-J. Hwang, and C.-T. Huang, "Study on the Flow, Foaming Characteristics and Structural Strength of Polypropylene Structural Foam Injection Molding by Innovative Nitrogen and Molten Plastic Mixing Mechanism," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 9, p. 2116, Apr. 2023, doi: 10.3390/polym15092116.
- [18] N. K. Jha, G. Bharath Reddy, and V. Kumar, "Design and Process Analysis of Single Cavity Injection Molding Die for Plastic Wing Nut," *CVR Journal of Science & Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 129–134, Jun. 2021, doi: 10.32377/cvrjst2020.
- [19] M. Al Masta, "Design analysis of mold cavity and core on compression molding of composite material," *Jurnal Polimesin*, vol. 21, no. 2, Apr. 2023, doi: 10.30811/jpl.v21i2.3311.