

Analisis Aliran Cetakan *Paving Block* Menggunakan Material *Polypropylene* (PP)

Yoga Aryatama¹, Muhammad Yunus¹, Subkhan¹

¹ Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail :yogaaryatama12@gmail.com

Received :3 Desember 2025 ; Received in revised form: 3 Desember 2025;

Accepted: 31 Desember 2025

Abstract

This study presents the design and flow analysis of a polypropylene (PP) injection mold for paving block production as a cost-efficient and lightweight alternative to conventional metal molds. The research consists of a field survey at Tacon company, product geometry evaluation, mold design using SolidWorks, and flow simulation to assess mold performance. Simulation results indicate that the two-plate mold with a 2 mm wall thickness can withstand loads up to two stacked paving blocks (40 N) without deformation. The filling time was recorded at 1.6491 seconds, with a maximum injection pressure of 49.03 MPa, and cooling time ranging between 5.14–10.64 seconds. The sink mark value was very small (0.0031 mm) and located in non-critical areas, while air traps appeared only at the cavity edges. These findings confirm that PP can be effectively used as a mold material for paving blocks, providing stable melt flow behavior, good product quality, and efficient cooling cycles. This research contributes to the development of polymer-based mold technology for affordable, lightweight, and locally manufacturable paving block production.

Keywords: paving block, injection molding, polypropylene, two-plate mold, flow simulation.

Abstrak

Penelitian ini membahas perancangan dan analisis cetakan injeksi paving block berbahan polypropylene (PP) sebagai alternatif yang lebih ekonomis dan ringan dibandingkan cetakan logam. Proses penelitian meliputi survei lapangan di perusahaan Tacon, analisis geometri produk, desain cetakan menggunakan SolidWorks, serta simulasi aliran injeksi untuk mengevaluasi performa cetakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain cetakan tipe two plate dengan ketebalan dinding 2 mm mampu menahan beban hingga dua tumpukan paving block (40 N) tanpa deformasi. Waktu pengisian sebesar 1,6491 detik, tekanan injeksi maksimum tercatat 49,03 MPa, dan waktu pendinginan berada pada kisaran 5,14–10,64 detik. Nilai sink mark sangat kecil (0,0031 mm) dan berada pada area non-kritis, sementara air trap hanya muncul pada sisi ujung cavity. Temuan ini menunjukkan bahwa material PP dapat diaplikasikan sebagai cetakan paving block dengan performa aliran yang stabil, kualitas hasil cetak yang baik, serta siklus pendinginan yang efisien. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam upaya pengembangan teknologi cetakan berbahan polimer untuk produksi paving block yang ringan, murah, dan mudah diproduksi.

Kata kunci: paving block, injection molding, polypropylene, two plate mold, simulasi aliran.

1. PENDAHULUAN

Injection molding merupakan proses yang sangat bergantung pada perilaku aliran material di dalam cavity. Ketidakseimbangan aliran, tekanan injeksi yang tidak merata, atau desain gate dan runner yang kurang optimal dapat menyebabkan cacat seperti short shot, sink mark, warpage, serta peningkatan waktu siklus. [1]. Dalam industri pembuatan paving

block, cetakan logam masih banyak digunakan meskipun biaya pembuatannya tinggi. Alternatif yang lebih ekonomis dan ringan adalah penggunaan cetakan berbahan plastik polypropylene (PP). Namun, keberhasilan penerapan cetakan berbahan PP sangat bergantung pada pemahaman aliran material selama proses injeksi.[2]

Perusahaan Tacon, sebagai objek survei penelitian, mengalami kendala dalam biaya

pengadaan cetakan logam sehingga diperlukan inovasi cetakan plastik yang dapat diproduksi secara lokal. Untuk memastikan keberhasilan produksi, analisis aliran melt PP dalam cavity cetakan paving block harus dilakukan secara komprehensif.[3]

Berdasarkan survei yang dilakukan, perusahaan Tacon menghadapi kendala dalam memproduksi cetakan paving block berbahan plastik. Diketahui bahwa harga cetakan paving block yang ditawarkan oleh pemasok luar daerah sangat tinggi, sehingga menghambat kemampuan perusahaan untuk memenuhi permintaan pasar. Dalam upaya untuk mengatasi masalah ini, Bapak Baharsan Azis melakukan kerja sama dengan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung untuk merancang dan memproduksi cetakan paving block berbahan plastik, dan kerja sama ini berpotensi berlanjut ke pemesanan berikutnya.[4]

Polypropylene (PP) menjadi salah satu material yang berpotensi menggantikan cetakan logam untuk aplikasi tertentu, termasuk cetakan paving block. PP memiliki keunggulan berupa harga ekonomis, densitas rendah, kemudahan pembentukan, serta ketahanan terhadap bahan kimia.[5] Namun, penerapannya pada cetakan produksi harus didukung oleh pemahaman mendalam mengenai perilaku aliran PP di dalam cavity. Tanpa analisis aliran yang tepat, cetakan berbahan PP berisiko mengalami cacat seperti ketidakmerataan ketebalan dinding, pembekuan tidak serempak, serta terbentuknya tekanan internal yang mengurangi umur pakai cetakan.[6]

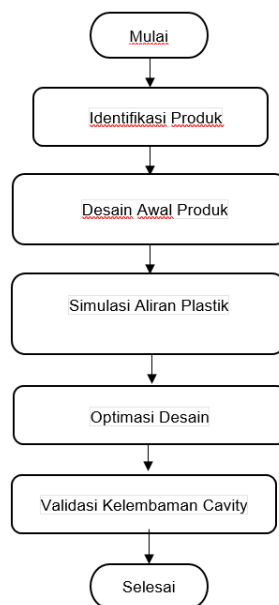
Namun, untuk diaplikasikan sebagai bahan cetakan seperti cetakan paving block, analisis terhadap perilaku aliran, distribusi temperatur,

dan pola pendinginan menjadi krusial.[7] Studi mengenai rheologi dan dinamika aliran PP menegaskan bahwa variasi temperatur melt, tekanan injeksi, serta desain saluran alir sangat memengaruhi hasil pembentukan dan potensi cacat produk.[8] Tanpa pemahaman yang memadai terhadap faktor-faktor tersebut, penggunaan PP sebagai bahan cetakan dapat menimbulkan permasalahan produksi seperti ketidakhomogenan struktur, deformasi termal, hingga penurunan umur pakai cetakan.[9] Oleh karena itu, penelitian mengenai karakteristik aliran PP dalam cavity cetakan menjadi langkah penting untuk memastikan kelayakan dan performa cetakan berbahan polimer pada aplikasi industri.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi terhadap pengembangan teknologi cetakan berbahan plastik, namun juga mendukung upaya kemandirian industri lokal dalam menyediakan cetakan berbiaya rendah, ringan, dan mudah diproduksi. Analisis aliran yang komprehensif diharapkan dapat memberikan gambaran ilmiah bagi perbaikan desain cetakan paving block serta menjadi referensi untuk penelitian dan pengembangan lanjutan di bidang desain cetakan plastik.[10].

2. METODE PENELITIAN

Desain cetakan injeksi plastik tipe two plate untuk cetakan paving block dilakukan dengan mempertimbangkan ketebalan minimum dan volume optimal yang mampu menahan tekanan injeksi tanpa mengalami deformasi. Analisis juga difokuskan pada pemerataan distribusi tekanan dan suhu selama proses injeksi, efektivitas sistem pendinginan untuk mempercepat siklus produksi, serta validasi kekuatan struktural cetakan terhadap beban dan tekanan kerja.



Gambar 1. Diagram Alir

Identifikasi Produk

Melakukan survei lapangan dan studi literatur untuk mendapatkan informasi mengenai model paving block yang umum digunakan, material plastik yang cocok, serta proses dan sistem cetakan injeksi yang sesuai.

Desain Awal Produk

Membuat desain awal paving block dengan mempertimbangkan aspek fungsional dan estetika, serta kemudahan produksi menggunakan metode cetakan injeksi.

Simulasi Aliran Plastik

Menganalisis perilaku aliran material PP di dalam rongga cetakan selama proses injeksi untuk memastikan desain runner, gate, dan cavity dapat mengalirkan material secara merata.

Optimasi Desain

Melakukan penyempurnaan desain cetakan berdasarkan hasil simulasi dan analisis untuk meningkatkan efektivitas produksi dan meminimalkan risiko cacat pada Penelitian.

Validasi Kelembaman Cavity

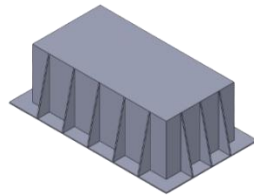
Analisis dilakukan untuk memastikan cavity terisi sempurna tanpa cacat aliran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Desain Produk

Berdasarkan hasil survei di perusahaan Tacon, dimensi paving block yang digunakan adalah lebar 10,5 cm, panjang 21 cm, dan tebal 8 cm. Material cetakan yang digunakan adalah polypropylene (PP), yang dikenal memiliki ketahanan terhadap suhu dan tekanan tinggi serta biaya produksi yang relatif rendah.

Melalui proses iterasi dan simulasi beban menggunakan SolidWorks, diperoleh desain optimal dengan ketebalan 2 mm. Simulasi beban menunjukkan bahwa dengan ketebalan 2 mm, cetakan mampu menahan beban hingga dua tumpukan produk (total 40 N) tanpa mengalami deformasi. Pada analisis ketiga dengan total beban 60 N (3 tumpukan), produk tidak mampu lagi menahan beban yang diberikan.



Gambar 2. Desain Produk

Gambar 2 menunjukkan model tiga-dimensi dari cetakan paving blok dengan desain struktur penopang berbentuk rusuk (rib) di sisi-sisinya. Model geometris ini menampilkan elemen dinding yang meruncing ke arah bagian atas untuk meningkatkan kekakuan sekaligus mempermudah proses pelepasan produk setelah pencetakan. Basis cetakan dibuat lebih lebar untuk memastikan stabilitas selama proses injeksi material. Desain ini dioptimalkan untuk aplikasi pada proses injection molding berbahan plastik, sehingga setiap detail geometri termasuk kemiringan dinding, jumlah dan orientasi rusuk, serta ketebalan dasar ditujukan untuk meminimalkan cacat produk, memaksimalkan aliran material, dan meningkatkan integritas struktural cetakan secara keseluruhan.

3.2. Pembahasan

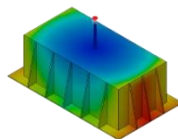
Desain cetakan injeksi yang dihasilkan menunjukkan bahwa penggunaan material plastik seperti PP dapat menjadi alternatif yang lebih ekonomis dan efisien dibandingkan dengan cetakan logam. Hasil simulasi aliran plastik menunjukkan distribusi aliran yang merata, yang penting untuk mencegah cacat produk seperti short shot dan air trap. Selain itu, analisis kekuatan cetakan menunjukkan bahwa desain yang dihasilkan mampu menahan beban yang diberikan tanpa mengalami deformasi, yang merupakan faktor penting dalam proses produksi massal.

3.2.1 Hasil Simulasi Aliran Material PP

Simulasi aliran menggunakan SolidWorks Plastics menghasilkan beberapa parameter penting:

1. Waktu Pengisian (*Filling Time*)

Waktu pengisian cairan plastik adalah 1.6491 detik.



Gambar 3. *Fill Time*

Simulasi *fill time* pada model cetakan paving blok berbahan PP menunjukkan bahwa waktu pengisian material melalui titik injeksi bagian atas berlangsung dalam rentang 0.000186 detik hingga 1.6491 detik, dengan area berwarna biru terisi paling awal dan bagian dasar sudut yang berwarna merah menjadi area terakhir terisi. Pola gradasi warna yang halus menandakan aliran material mengisi rongga cetakan secara relatif stabil tanpa indikasi *flow hesitation* atau potensi *short shot*.

3.2.2 Distribusi Tekanan

Tekanan injeksi maksimum yang dihasilkan sebesar 49,03 MPa, nilai ini masih berada jauh di bawah kemampuan mesin

yang berkisar antara 140–240 MPa. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa rancangan runner dan gate pada proses injeksi telah bekerja secara optimal, sehingga aliran melt PP dapat mengalir dengan lancar dan efisien menuju rongga cetakan tanpa hambatan berarti.

3.2.3 Distribusi Temperatur

Temperatur melt menunjukkan penurunan bertahap di seluruh area cavity, dan tidak terdapat tanda-tanda terjadinya pembekuan prematur yang berpotensi menimbulkan short shot. Hal ini menegaskan bahwa desain cooling channel bekerja dengan baik dan tidak menghambat aliran awal material ke dalam cetakan.

3.3 Analisis Cacat Aliran

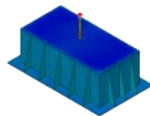
Analisis cavity dilakukan untuk memastikan bahwa geometri cetakan paving block mampu mendukung aliran material polypropylene (PP) secara optimal selama proses injection molding. Cavity dirancang dengan ketebalan dinding rata-rata 2 mm dan penambahan beberapa rib penguat agar kekakuan tetap terjaga tanpa menghambat aliran melt. Penempatan gate di bagian sisi

atas dipilih untuk menghasilkan distribusi aliran yang seimbang ke seluruh bagian cavity.

Berikut analisis aliran Sink Mark dan Air Traps

1. Sink Mark

Nilai sink mark maksimum yang terjadi adalah 0,0031 mm dan terjadi pada bagian yang tidak kritis. Dari simulasi dapat dilihat bahwa produk cetakan sepenuhnya berwarna biru, menandakan bahwa sink mark berada dalam batas aman.

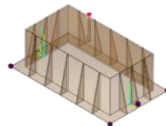


Gambar 4. Sink Mark

Hasil analisis *sink mark* pada model menunjukkan bahwa area kritis dengan potensi cekungan terbesar berada di sekitar titik injeksi (gate) pada permukaan atas produk, dengan nilai deformasi maksimum sekitar 0,0198 mm dan minimum 0,0031 mm.

2. Air Traps

Air trap terjadi pada ujung produk yang ditunjukkan dengan titik-titik berwarna pink. Lokasi air trap berada pada area non-struktural sehingga tidak memengaruhi kekuatan produk.

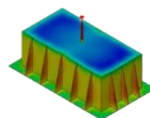


Gambar 5. Air Traps

Analisis *sink mark* pada model menunjukkan bahwa potensi terjadinya cekungan terutama muncul pada area sisi dalam rib, seperti terlihat dari kontur deformasi dengan nilai maksimum mencapai 0,95°, yang mengindikasikan adanya konsentrasi penyusutan akibat variasi ketebalan dan aliran material yang tidak merata.

3.4 Sistem Pendingin

Sistem pendingin dirancang untuk menjaga kestabilan temperatur cetakan dan mempercepat waktu siklus produksi. Pada penelitian ini digunakan jalur pendingin dengan konfigurasi yang mengelilingi cavity sehingga distribusi temperatur lebih merata selama proses pengisian dan pendinginan.



Gambar 6. Cooling Time

Waktu pendinginan (Cooling Time) pada hasil simulasi menunjukkan distribusi waktu pendinginan yang bervariasi antara $\pm 5,14$ –10,64 detik, dengan area berwarna biru pada permukaan atas sebagai bagian yang paling cepat mendingin dan area dinding rib serta bagian dekat dasar cetakan memiliki waktu pendinginan lebih lama (ditunjukkan oleh gradasi hijau–merah). Perbedaan ini disebabkan oleh variasi ketebalan dan akumulasi panas pada bagian bergagang atau

berdimensi lebih tebal, sehingga panas membutuhkan waktu lebih lama untuk berpindah menuju dinding cetakan. Pola pendinginan ini menunjukkan bahwa geometri rib memiliki pengaruh signifikan terhadap laju pembuangan panas, dan area dengan pendinginan lambat berpotensi meningkatkan risiko cacat seperti deformasi atau penyusutan tidak merata jika tidak diimbangi dengan desain cooling system yang optimal.

4. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan menganalisis cetakan injeksi paving block berbahan polypropylene (PP) sebagai alternatif yang lebih ekonomis dan ringan dibandingkan cetakan logam konvensional. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan SolidWorks Plastics, cetakan tipe two plate dengan ketebalan dinding 2 mm terbukti mampu menahan beban hingga dua tumpukan paving block (40 N) tanpa mengalami deformasi, sehingga memenuhi aspek kekuatan struktural. Proses pengisian material PP menunjukkan aliran yang stabil dengan waktu pengisian 1,6491 detik, tekanan injeksi maksimum sebesar 49,03 MPa yang masih berada jauh di bawah batas kapasitas mesin, serta nilai sink mark yang sangat kecil (0,0031 mm) dan tidak berada pada area kritis. Air trap yang muncul hanya berada pada bagian ujung cavity dan tidak memengaruhi kualitas struktur produk. Selain itu, sistem pendingin memberikan performa yang baik dengan waktu pendinginan berkisar 5–12 detik, sehingga memungkinkan siklus produksi yang efisien. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa PP dapat digunakan sebagai bahan cetakan paving block dengan performa aliran yang baik, kualitas produk yang optimal, dan proses produksi yang efisien. Hal ini menjadikan cetakan berbahan PP sebagai solusi yang layak dan menguntungkan untuk mendukung produksi paving block yang ringan, murah, dan dapat dibuat secara lokal

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Zhang, D. Yan, L. Peng, dan X. Huang, "Dimensional Analysis Theory and Molecular Dynamics Simulation of Polypropylene Melt Flow during Injection Molding Process," *arXiv*, Jan. 2024.
- [2] M. Ovsik, K. Fucikova, L. Manas, dan M. Stanek, "Influence of Polymer Flow on Polypropylene Morphology, Micro-Mechanical, and Tribological Properties of Injected Part," *Lubricants*, vol. 12, no. 6, p. 202, 2024.
- [3] L. Seifert, L. Leuchtenberger-Engel, dan C. Hopmann, "Enhancing the Quality of Polypropylene Recyclates: Predictive Modelling of the Melt Flow Rate and Shear Viscosity," *Polymers*, vol. 16, no. 16, 2024.
- [4J.] J. Wang, T. Liu, K. Zheng, H. Liu, C. Hui, dan H. Li, "Local Thermal Warpage Deformation of Polypropylene Injection Molded Flat Part and Neural Network Prediction Model," *Frontiers in Materials*, vol. 11, p. 1421546, 2024.
- [5] S.-C. Chen et al., "Prediction of Part Shrinkage for Injection Molded Crystalline Polymer via Cavity Pressure and Melt Temperature Monitoring," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 17, p. 9884, 2023.
- [6] G. Hiyane-Nashiro et al., "Optimization of the Reduction of Shrinkage and Warpage for Plastic Parts in the Injection Molding Process by Extended Adaptive Weighted Summation Method," *Polymers*, vol. 14, no. 23, p. 5133, 2022.
- [7] H. Widjaja dan M. Fauzan, "Pengaruh Tekanan Injeksi terhadap Flow Length Material Polypropylene (PP) dengan Ketebalan Produk 1 mm," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Manufaktur*, vol. 5, no. 1, 2023.
- [8] S. Andriansyah et al., "Pengaruh Temperatur terhadap Shrinkage Hasil Cetakan Model Cup pada Proses Injection Molding," *METALIK: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*, vol. 3, no. 2, 2024.
- [9] A. I. Ramadhan, E. Diniardi, dan M. Daroji, "Analisa Penyusutan Produk Plastik di Proses Injection Molding Menggunakan Media Pendingin Cooling Tower dan Udara dengan Material Polypropylene," *JRST*, vol. 1, no. 2, 2024.
- [10] J. A. Bawono, Budiarto, dan P. Kurniawan, "The Effect of Injection Parameters on Warpage, Shrinkage, and Tensile Strength of Polypropylene Composites," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 20, no. 2, 2025.
- [11] D. Hermawan, "Simulasi Injection Molding dalam Pembuatan Gelas Plastik Menggunakan Inventor 2021," *Jurnal Mesin Nusantara*, 2021.
- [12] J. M. Ferreira et al., "In-mold Rheology and Automated Process Control for Injection Molding of Recycled Polypropylene," *Polymer Engineering and Science*, 2024