JURNAL OPTIMALISASI
Teknik Industri
Journal homepage : http://jurnal.utu.ac.id/joptimalisasi
E - ISSN - 2502 - 0501
P - ISSN - 2477 - 5479

Perancangan Alat Pencetak Paving Block Daur Ulang Plastik Berbasis Biopori untuk Mendukung Pengelolaan Limbah Plastik Berkelanjutan

Handi Wilujeng Nugroho[1]*, Alyani Rahma Putri[1], Muthi Maitsa Zulfatri[1]

[1] *Program Studi Teknik Logistik, Fakultas Teknik dan Informatika , Universitas Sains dan Teknologi Indonesia, Jl. Pendidikan No.17 Kota Pekanbaru, Riau 28293, Indonesia*

*Corresponding author: handynugroho41@gmail.com

ARTICLE INFO

Received: 05-09-2026
Revision: 14-10-2026
Accepted: 29-10-2026

Keywords:
biopore
circular economy
equipment design
paving block
plastic waste
productivity

ABSTRACT

Plastic waste management remains a major environmental challenge, necessitating treatment approaches that can generate added value from waste materials. One promising approach is to convert plastic waste into paving blocks while incorporating biopores to facilitate water infiltration into the soil. This study aimed to design and evaluate a biopore-based paving block manufacturing machine using recycled plastic, with particular emphasis on productivity, product quality, process efficiency, and operator workload. The research employed a product design and work-system analysis approach, comprising needs identification, machine design, prototype fabrication, cycle-time testing, product dimensional measurements, and evaluations of productivity and work methods. The developed machine has overall dimensions of 700 × 500 × 1,000 mm and a production capacity of four paving blocks per cycle. It is operated by a single operator using a manual lever mechanism. The experimental results yielded an average cycle time of 298 s, corresponding to a theoretical production capacity of 49 paving blocks/h and an actual capacity of 46 paving blocks/h. A total of 95% of the products met the specified requirements, while 5% exhibited minor defects. The resulting paving blocks had mean dimensions of 200.4 × 100.3 × 60.5 mm, with an average biopore diameter of 30.2 mm. Compared with the conventional manual method, the developed machine reduced cycle time by 17.22%, work activities by 30%, and the operator's primary movements by 26.67%. These findings demonstrate that the developed machine can improve productivity and process standardization while converting plastic waste into paving blocks with an additional water-infiltration function. The machine therefore shows potential as an appropriate technology for waste banks, TPS3R facilities, community-based organizations, and small-scale enterprises, particularly in supporting the implementation of circular economy principles.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan timbulan sampah plastik menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang semakin serius karena sifatnya yang sulit terurai secara alami dan dapat bertahan dalam lingkungan dalam waktu yang panjang. Pengelolaan yang belum optimal menyebabkan sampah plastik berpotensi mencemari tanah dan badan air serta meningkatkan beban tempat pembuangan akhir. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pengelolaan yang tidak hanya berorientasi pada pembuangan, tetapi juga pada pemanfaatan kembali dan daur ulang untuk menghasilkan produk bernilai guna. Konsep ekonomi sirkular mendorong pemanfaatan kembali material sehingga nilai dan fungsi sumber daya dapat dipertahankan lebih lama [1], [2], [3].

Salah satu alternatif pemanfaatan sampah plastik adalah mengolahnya menjadi material konstruksi. Plastik daur ulang telah banyak dikaji sebagai komponen berbagai produk konstruksi, termasuk bata, blok, ubin, dan paving block [4], [5], [6]. Paving block memiliki potensi dikembangkan karena penggunaannya luas pada halaman, jalur pejalan kaki, area parkir, dan fasilitas lingkungan. Pemanfaatan plastik sebagai bahan paving block dapat mengurangi volume limbah sekaligus menghasilkan produk dengan nilai ekonomi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa plastik dapat digunakan sebagai bahan pengikat maupun komponen penyusun paving block dengan karakteristik fisik dan mekanik yang dipengaruhi oleh komposisi material dan proses produksi [7], [8], [9].

Dalam proses pengolahan paving block berbahan plastik daur ulang, plastik terlebih dahulu dipilah dan dibersihkan untuk menghilangkan kotoran yang dapat memengaruhi proses pengolahan. Plastik kemudian dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil dan dipanaskan hingga melunak atau meleleh sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengikat. Plastik yang telah melunak selanjutnya dicampurkan dengan material penyusun lainnya hingga diperoleh campuran yang relatif homogen. Campuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan diberi tekanan melalui mekanisme pemadatan untuk membentuk paving block sesuai dimensi yang dirancang. Setelah proses pemadatan dan pendinginan, produk dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan pemeriksaan terhadap dimensi serta kondisi permukaan. Parameter seperti jenis plastik, ukuran cacahan, temperatur pemanasan, komposisi campuran, tekanan pemadatan, dan waktu pendinginan dapat memengaruhi karakteristik produk yang dihasilkan [10], [11].

Selain aspek pemanfaatan limbah, desain paving block perlu mempertimbangkan fungsi lingkungan. Permukaan perkerasan yang kedap air dapat mengurangi infiltrasi dan meningkatkan limpasan permukaan, terutama pada kawasan dengan curah hujan tinggi. Perkerasan permeabel merupakan salah satu pendekatan untuk meningkatkan infiltrasi air dan mengurangi limpasan permukaan [12], [13], [14]. Dalam konteks tersebut, konsep lubang resapan biopori dapat diintegrasikan ke dalam desain paving block sebagai jalur tambahan bagi air untuk masuk ke dalam tanah. Penerapan biopori diketahui berpotensi membantu mengurangi limpasan dan mendukung konservasi air [15], [16], [17].

Integrasi plastik daur ulang dan biopori dalam paving block memberikan peluang untuk menggabungkan dua fungsi lingkungan dalam satu produk, yaitu mengurangi sampah plastik dan membantu meningkatkan infiltrasi air. Namun, penerapan konsep tersebut membutuhkan desain cetakan yang mampu menghasilkan dimensi produk dan posisi lubang biopori secara konsisten. Karakteristik plastik daur ulang yang berbeda dengan material konvensional juga membutuhkan mekanisme pencetakan dan pemadatan yang sesuai. Metode produksi manual berpotensi menghasilkan variasi dimensi, bentuk, kepadatan, kualitas permukaan, serta kapasitas produksi.

Penelitian terdahulu umumnya membahas paving block berbahan plastik dari aspek komposisi dan karakteristik fisik-mekanik, sedangkan penelitian biopori berfokus pada infiltrasi dan pengurangan limpasan [7], [8], [9]. Kebaruan penelitian ini terletak pada perancangan alat yang mengintegrasikan pencetakan paving block berbahan plastik daur ulang dan pembentukan lubang biopori secara simultan dalam satu proses, sehingga dapat mengurangi tahapan kerja serta meningkatkan konsistensi dan produktivitas.

Oleh karena itu, diperlukan alat pencetak yang dirancang secara khusus untuk menghasilkan paving block berbahan plastik daur ulang dengan konfigurasi biopori. Perancangan alat perlu mempertimbangkan dimensi produk, konstruksi cetakan, mekanisme pemadatan, kemudahan pelepasan produk, kapasitas produksi, keselamatan operator, dan konsistensi pembentukan lubang biopori. Alat yang tepat diharapkan mampu meningkatkan efisiensi proses sekaligus menghasilkan produk dengan kualitas geometris yang lebih seragam.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang alat pencetak paving block daur ulang plastik berbasis biopori. Perancangan diarahkan untuk menghasilkan alat yang praktis dan mampu membentuk paving block dengan dimensi seragam serta lubang biopori yang konsisten. Kinerja alat dievaluasi melalui kapasitas produksi, ketepatan dimensi, keberhasilan pembentukan biopori, dan kualitas produk. Pengembangan alat ini diharapkan dapat menjadi teknologi tepat guna yang mendukung pengurangan sampah plastik, meningkatkan nilai tambah limbah, serta menghasilkan alternatif material perkerasan yang memiliki fungsi tambahan dalam pengelolaan air hujan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan research and development (R&D) dengan fokus pada perancangan dan pengembangan alat pencetak paving block berbahan limbah plastik daur ulang dengan integrasi konsep biopori [8]. Material yang digunakan dalam penelitian ini berupa limbah plastik jenis polypropylene (PP) sebagai bahan pengikat dan pasir sebagai material pengisi. Komposisi campuran ditetapkan sebesar 60% limbah plastik PP dan 40% pasir berdasarkan berat total campuran. Limbah plastik PP terlebih dahulu dipilah, dibersihkan, dikeringkan, dan dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil, kemudian dipanaskan hingga melunak atau meleleh. Plastik yang telah meleleh

selanjutnya dicampurkan dengan pasir hingga homogen, kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan dipadatkan menggunakan mekanisme alat yang dirancang. Pemilihan PP didasarkan pada penelitian terdahulu yang menunjukkan potensinya sebagai bahan pengikat dalam pembuatan paving block berbasis plastik–pasir. ahapan penelitian meliputi: (1) identifikasi permasalahan dan kebutuhan proses produksi paving block; (2) identifikasi kebutuhan pengguna dan spesifikasi produk, meliputi dimensi paving block, diameter lubang biopori, kapasitas produksi, dan kemudahan pengoperasian; (3) penentuan spesifikasi teknis alat berdasarkan kebutuhan produk dan proses pencetakan; (4) perancangan konsep alat yang meliputi desain rangka, cetakan, mekanisme pemadatan, mekanisme pembentukan lubang biopori, dan mekanisme pelepasan produk; (5) pembuatan dan perakitan prototipe; (6) pengujian awal untuk memastikan fungsi setiap komponen dan mekanisme alat; (7) pengujian kinerja alat melalui pengukuran waktu siklus, kapasitas produksi, dimensi paving block, dan diameter lubang biopori; (8) evaluasi kualitas produk berdasarkan kesesuaian dimensi dan kondisi permukaan; serta (9) analisis hasil pengujian untuk mengetahui produktivitas, efisiensi proses, dan konsistensi produk. Hasil evaluasi selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menilai kinerja dan kelayakan alat yang dikembangkan.

2.2 Identifikasi Kebutuhan dan Spesifikasi Alat

Identifikasi kebutuhan dilakukan melalui observasi proses pengolahan plastik dan studi terhadap karakteristik paving block berbahan plastik daur ulang [6]. Kebutuhan utama yang diperhatikan meliputi kemudahan pengoperasian, konsistensi dimensi produk, pembentukan lubang biopori, kapasitas produksi, kemudahan pelepasan produk, keselamatan operator, dan kemudahan perawatan. Berdasarkan kebutuhan tersebut, ditetapkan spesifikasi teknis alat yang meliputi ukuran cetakan, jumlah rongga cetakan, sistem penekanan, konstruksi rangka, mekanisme pembentukan lubang biopori, material komponen, serta sistem pengoperasian. Spesifikasi dirancang agar alat dapat digunakan pada skala produksi kecil hingga menengah dan dapat dioperasikan dengan prosedur yang sederhana.

2.3 Perancangan dan Pembuatan Alat

Tahap perancangan dilakukan dengan mengembangkan konsep mekanik alat berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan. Perancangan meliputi konstruksi rangka, unit cetakan, sistem penekan, sistem pembentuk lubang biopori, serta mekanisme pelepasan paving block [5]. Desain dibuat dengan mempertimbangkan kekuatan konstruksi, kestabilan alat, kemudahan pengoperasian, dan kemudahan proses perawatan.

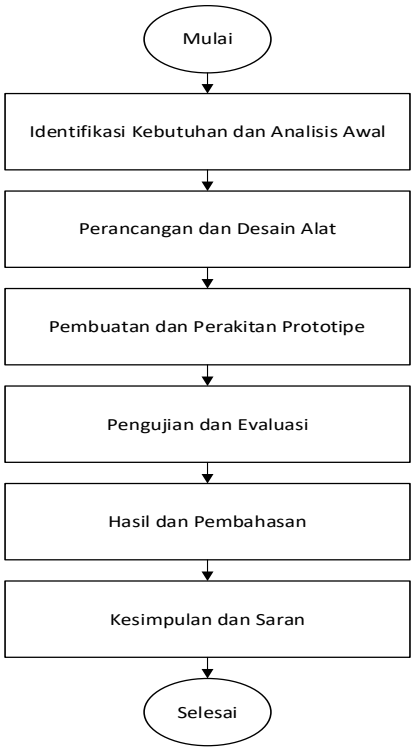
Unit cetakan dirancang untuk menghasilkan paving block dengan dimensi yang seragam serta memiliki lubang biopori pada posisi yang telah ditentukan. Komponen utama alat terdiri atas rangka, cetakan paving block, pelat penekan, poros atau elemen pembentuk biopori, mekanisme penggerak, dan sistem pelepasan produk. Setelah desain ditetapkan, setiap komponen dibuat dan dirakit menjadi satu prototipe alat. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan terhadap fungsi setiap komponen sebelum alat digunakan dalam pengujian.

2.4 Pengujian dan Evaluasi Kinerja

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat dalam menghasilkan paving block berbahan plastik daur ulang berbasis biopori [8]. Pengujian dilakukan dengan beberapa kali pengulangan untuk memperoleh data yang lebih representatif. Parameter yang diamati meliputi kapasitas produksi, waktu pencetakan, dimensi paving block, keseragaman bentuk, keberhasilan pembentukan lubang biopori, dan kualitas hasil cetakan.

Kapasitas produksi dihitung berdasarkan jumlah paving block yang dapat dihasilkan dalam satu satuan waktu. Dimensi produk diukur pada panjang, lebar, dan tinggi paving block, sedangkan lubang biopori diamati berdasarkan diameter, kedalaman, dan posisi lubang. Keseragaman produk dianalisis dengan membandingkan hasil pengukuran antarproduk. Selain itu, dilakukan pengamatan terhadap cacat produk seperti retak, deformasi, permukaan tidak rata, dan kerusakan pada saat proses pelepasan dari cetakan.

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan hasil aktual terhadap spesifikasi rancangan. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan alat dalam menghasilkan produk sesuai rancangan dan mengidentifikasi bagian alat yang masih memerlukan perbaikan. Hasil evaluasi selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menentukan kelayakan alat sebagai teknologi pencetak paving block berbahan plastik daur ulang berbasis biopori. Diagram alir penelitian dapat di lihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan Alat

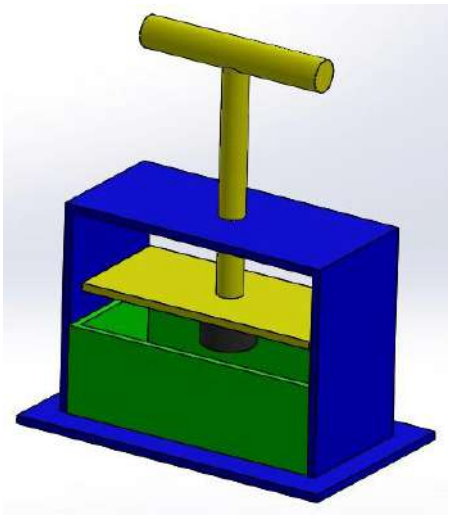
Hasil penelitian menghasilkan alat pencetak paving block berbahan plastik daur ulang yang mengintegrasikan proses pencetakan dan pembentukan lubang biopori dalam satu alat. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan proses produksi, kemudahan pengoperasian, konsistensi dimensi produk, kapasitas produksi, dan efisiensi kerja operator. Alat dirancang menggunakan rangka baja profil siku dengan dimensi keseluruhan 700 × 500 × 1.000 mm dan memiliki kapasitas empat paving block dalam satu siklus produksi. Penentuan dimensi alat didasarkan pada dimensi cetakan paving block, kebutuhan penempatan empat cetakan dalam satu siklus produksi, ruang yang diperlukan untuk mekanisme pengepresan, serta ruang untuk proses pemasukan bahan dan pengeluaran produk. Acuan dimensi paving block mengacu pada SNI 03-0691-1996 tentang Bata Beton (paving block), yang digunakan sebagai salah satu acuan dalam spesifikasi dan karakteristik paving block.

Setiap paving block dirancang dengan ukuran 200 × 100 × 60 mm dan dilengkapi satu lubang biopori dengan diameter sekitar 30 mm. Ukuran tersebut mengacu pada karakteristik paving block berdasarkan SNI 03-0691-1996, dengan ketebalan 60 mm disesuaikan dengan penggunaannya pada perkerasan seperti trotoar dan median berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga, sedangkan lubang berdiameter 30 mm merupakan modifikasi desain untuk mendukung fungsi infiltrasi air. Sistem pencetakan menggunakan mekanisme tuas manual sehingga alat tidak memerlukan energi listrik untuk proses pencetakan. Penggunaan mekanisme manual dipilih agar alat dapat digunakan pada skala kelompok masyarakat, bank sampah, maupun usaha kecil dengan biaya operasional yang relatif rendah. Hal ini dapat dilihat dari tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Alat

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Dimensi alat	700 × 500 × 1.000 mm
2	Kapasitas cetakan	1 paving block/siklus
3	Ukuran paving block	200 × 100 × 60 mm
4	Diameter biopori	30 mm
5	Jumlah biopori	1 lubang/produk
6	Sistem pencetakan	Mekanisme tuas
7	Material rangka	Baja profil siku
8	Material cetakan	Pelat baja
9	Jumlah operator	1 orang
10	Sistem pelepasan	Manual
11	Sumber energi	Tenaga manusia
12	Kapasitas target	±48 paving block/jam

Integrasi proses pencetakan dan pembentukan biopori dalam satu alat juga memberikan keuntungan karena operator tidak perlu melakukan proses pembuatan lubang secara terpisah setelah paving block terbentuk. Adapun desain alat yang dibuat dapat lihat pada gambar 2.



Gambar 2. Alat Pencetak *Paving Block*

3.2 Analisis Waktu Siklus dan Sistem Kerja

Pengamatan waktu dilakukan pada seluruh aktivitas produksi mulai dari pengisian material hingga produk dikeluarkan dari cetakan. Satu siklus menghasilkan empat paving block.

Tabel 2. Waktu Siklus Produksi

No.	Aktivitas	Waktu Rata-rata
1	Pengisian material	75 detik
2	Penempatan pembentuk biopori	20 detik
3	Proses penekanan	60 detik
4	Pelepasan tekanan	18 detik
5	Pelepasan paving block	70 detik
6	Pemeriksaan produk	30 detik
7	Persiapan siklus berikutnya	25 detik
Total		**298 detik**

Total waktu produksi satu siklus adalah 298 detik atau sekitar 4,97 menit untuk menghasilkan empat paving block. Berdasarkan waktu tersebut, kapasitas teoritis alat mencapai sekitar 48,32 paving block per jam. Nilai ini menunjukkan bahwa alat mampu menghasilkan jumlah produk yang cukup tinggi untuk skala produksi kecil. Aktivitas yang paling banyak membutuhkan waktu adalah pengisian material sebesar 75 detik dan pelepasan paving block sebesar 70 detik. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peluang peningkatan produktivitas tidak hanya terletak pada mekanisme pencetakan, tetapi juga pada metode pengisian material dan sistem pelepasan produk. Perbaikan pada kedua aktivitas tersebut dapat dilakukan pada pengembangan alat berikutnya. Waktu siklus merupakan indikator penting untuk melihat produktivitas proses. Proses produksi yang memiliki waktu siklus lebih pendek dengan kualitas yang tetap terjaga akan menghasilkan kapasitas yang lebih tinggi. Oleh karena itu, pengembangan alat tidak hanya ditujukan untuk menghasilkan paving block, tetapi juga untuk menciptakan sistem kerja yang lebih cepat, konsisten, dan mudah dikendalikan.

3.3 Produktivitas Alat

Pengujian dilakukan sebanyak 10 siklus dengan total target 40 paving block. Hasil pengujian menunjukkan bahwa 38 produk memenuhi spesifikasi dan dua produk mengalami cacat ringan berupa ketidaksempurnaan permukaan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Produktivitas

Parameter	Hasil
Produk setiap siklus	4 unit
Jumlah siklus pengujian	10 siklus
Total produk	40 unit
Produk sesuai spesifikasi	38 unit
Produk cacat	2 unit
Waktu rata-rata/siklus	298 detik
Kapasitas teoritis	48,32 unit/jam

Kapasitas aktual	45,90 unit/jam
Efisiensi kapasitas	95%
Produk sesuai spesifikasi	95%
Produk cacat	5%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu menghasilkan rata-rata 45,90 paving block per jam. Kapasitas tersebut mendekati kapasitas teoritis sebesar 48,32 paving block per jam sehingga tingkat pemanfaatan kapasitas mencapai sekitar 95%. 2 produk (5%) mengalami cacat ringan berupa permukaan yang tidak rata dan terdapat bagian permukaan yang kurang sempurna setelah proses pencetakan. Cacat tersebut terutama terlihat pada bagian permukaan paving block dan tidak berupa retak atau patah. Perbedaan antara kapasitas teoritis dan aktual disebabkan oleh aktivitas pemeriksaan, pengisian kembali material, penyesuaian cetakan, dan aktivitas operator lainnya.

Jika alat digunakan selama enam jam produksi efektif per hari, potensi produksi mencapai sekitar 275 paving block per hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa alat memiliki potensi untuk digunakan pada skala kelompok masyarakat atau usaha kecil yang melakukan pengolahan sampah plastik menjadi produk bernilai tambah.

3.4 Analisis Kualitas dan Konsistensi Produk

Kualitas produk dianalisis melalui pengukuran dimensi paving block dan ukuran lubang biopori. Pengukuran dilakukan terhadap produk hasil pengujian untuk mengetahui tingkat keseragaman hasil cetakan.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Produk

Parameter	Target	Rata-rata	Minimum	Maksimum
Panjang	200 mm	200,4 mm	199,8 mm	201,0 mm
Lebar	100 mm	100,3 mm	99,7 mm	100,9 mm
Tinggi	60 mm	60,5 mm	59,8 mm	61,1 mm
Diameter biopori	30 mm	30,2 mm	29,8 mm	30,6 mm
Kedalaman biopori	45 mm	45,3 mm	44,7 mm	46,0 mm

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa dimensi paving block relatif mendekati ukuran rancangan. Rata-rata panjang sebesar 200,4 mm, lebar 100,3 mm, dan tinggi 60,5 mm menunjukkan adanya penyimpangan yang relatif kecil dari ukuran target. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa cetakan mampu mempertahankan bentuk produk secara cukup konsisten.

Diameter biopori rata-rata sebesar 30,2 mm dengan rentang 29,8–30,6 mm menunjukkan bahwa mekanisme pembentuk biopori mampu menghasilkan lubang dengan ukuran yang relatif seragam. Konsistensi ini penting karena lubang biopori merupakan karakteristik utama produk yang dikembangkan. Konsistensi produk menunjukkan bahwa alat dapat berfungsi sebagai sarana standardisasi proses produksi. Operator tidak lagi sepenuhnya menentukan bentuk dan ukuran produk melalui keterampilan manual, tetapi dibantu oleh konfigurasi cetakan yang telah ditetapkan. Kondisi tersebut dapat mengurangi variasi produk antar-siklus.

3.5 Perbandingan Proses Manual dan Menggunakan Alat

Untuk mengetahui peningkatan kinerja setelah perancangan alat, dilakukan perbandingan dengan metode manual yang sebelumnya digunakan.

Tabel 5. Perbandingan Metode Produksi

Parameter	Metode Manual	Menggunakan Alat
Waktu siklus	360 detik	298 detik
Kapasitas produksi	40 unit/jam	45,90 unit/jam
Jumlah aktivitas	10 aktivitas	7 aktivitas
Produk sesuai spesifikasi	87,5%	95%
Produk cacat	12,5%	5%
Pembentukan biopori	Terpisah	Terintegrasi
Operator	1 orang	1 orang

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa penggunaan alat mampu mengurangi waktu siklus dari 360 detik menjadi 298 detik. Dengan demikian, proses produksi menjadi sekitar 17,22% lebih cepat. Kapasitas produksi juga meningkat dari 40 menjadi 45,90 paving block per jam.

Jumlah aktivitas produksi berkurang dari 10 menjadi tujuh aktivitas. Pengurangan tersebut terutama disebabkan oleh integrasi pembentukan biopori langsung pada cetakan. Operator tidak perlu melakukan proses tambahan untuk membuat lubang setelah paving block selesai dicetak.

Dari sisi kualitas, persentase produk yang memenuhi spesifikasi meningkat dari 87,5% menjadi 95%, sedangkan produk cacat menurun dari 12,5% menjadi 5%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa alat memberikan pengaruh positif terhadap konsistensi proses.

3.6 Analisis Ergonomi dan Metode Kerja

Aspek ergonomi juga dipertimbangkan dalam perancangan alat. Tinggi alat sebesar 1.000 mm dirancang agar aktivitas pengisian material dan pengoperasian tuas dapat dilakukan pada posisi kerja yang lebih nyaman. Posisi cetakan juga dibuat mudah dijangkau oleh operator sehingga tidak membutuhkan gerakan membungkuk secara berulang.

Tabel 6. Perbandingan Sistem Kerja

Parameter	Sebelum Menggunakan Alat	Setelah Menggunakan Alat
Jumlah operator	1 orang	1 orang
Tinggi area kerja	±750 mm	±1.000 mm
Pembentukan biopori	Manual terpisah	Terintegrasi
Jumlah gerakan utama	15 gerakan/siklus	11 gerakan/siklus
Pelepasan produk	Relatif sulit	Lebih mudah
Metode kerja	Tidak terstandar	Lebih terstandar

Jumlah gerakan utama operator berkurang dari sekitar 15 menjadi 11 gerakan per siklus atau mengalami pengurangan sekitar 26,67%. Pengurangan gerakan tersebut menunjukkan adanya penyederhanaan metode kerja. Penyederhanaan gerakan merupakan salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi kerja sekaligus mengurangi potensi kelelahan operator. Perancangan alat juga memberikan standardisasi terhadap urutan kerja. Operator mengikuti tahapan pengisian, pemasangan pembentuk biopori, penekanan, pelepasan, dan pemeriksaan produk. Standardisasi tersebut membantu mengurangi perbedaan metode kerja antaroperator dan menjaga konsistensi waktu produksi.

3.7 Hasil Akhir Alat dan Produk

Setelah proses perakitan dan pengujian, alat dapat berfungsi sesuai dengan tujuan perancangan. Alat mampu mencetak empat paving block dalam satu siklus dengan waktu rata-rata 298 detik. Sistem pembentukan biopori dapat bekerja bersamaan dengan proses pencetakan sehingga menghasilkan produk yang memiliki karakteristik seragam.

Tabel 7. Kondisi Akhir Alat dan Produk

Parameter	Hasil Akhir
Kapasitas cetakan	4 paving block/siklus
Waktu siklus	298 detik
Kapasitas aktual	45,90 paving block/jam
Ukuran rata-rata produk	200,4 × 100,3 × 60,5 mm
Diameter biopori	30,2 mm
Kedalaman biopori	45,3 mm
Produk sesuai spesifikasi	95%
Produk cacat	5%
Jumlah operator	1 orang
Fungsi produk	Perkerasan + infiltrasi air

Produk akhir memiliki ukuran rata-rata 200,4 × 100,3 × 60,5 mm dan diameter biopori rata-rata 30,2 mm. Sebanyak 95% produk memenuhi spesifikasi yang ditentukan, sedangkan 5% mengalami cacat ringan berupa ketidaksempurnaan permukaan. Cacat tersebut terutama berkaitan dengan distribusi material pada cetakan yang belum sepenuhnya seragam.

Secara visual dan fungsional, produk akhir telah menunjukkan karakteristik paving block dengan lubang biopori yang terbentuk secara langsung dari cetakan. Dengan adanya lubang tersebut, paving block tidak hanya digunakan sebagai material perkerasan, tetapi juga memiliki fungsi tambahan sebagai jalur masuk air ke dalam tanah.

Hasil ini menjadi salah satu bagian penting dari penelitian karena menunjukkan bahwa rancangan alat tidak hanya berhasil secara mekanis, tetapi juga mampu menghasilkan produk sesuai konsep yang direncanakan. Integrasi fungsi pencetakan dan pembentukan biopori menjadi keunggulan utama dibandingkan metode manual.

3.8 Kinerja Sistem Produksi

Kinerja alat selanjutnya dianalisis secara menyeluruh berdasarkan produktivitas, kualitas, waktu, efisiensi, ergonomi, dan fungsi lingkungan.

Tabel 8. Ringkasan Kinerja Sistem Produksi

Aspek	Indikator	Hasil
Produktivitas	Kapasitas aktual	45,90 unit/jam
Waktu	Waktu siklus	298 detik
Kapasitas	Kapasitas teoritis	48,32 unit/jam
Efisiensi	Efisiensi kapasitas	95%
Kualitas	Produk sesuai spesifikasi	95%
Kualitas	Produk cacat	5%
Efisiensi proses	Pengurangan waktu	17,22%
Metode kerja	Pengurangan aktivitas	30%

Ergonomi	Pengurangan gerakan	26,67%
Biopori	Produk memiliki biopori	100%
Tenaga kerja	Operator	1 orang

Berdasarkan hasil tersebut, alat menunjukkan peningkatan kinerja pada beberapa aspek utama. Waktu produksi lebih pendek, kapasitas meningkat, kualitas produk lebih konsisten, dan aktivitas operator menjadi lebih sederhana. Hal ini menunjukkan bahwa perancangan alat memberikan dampak positif terhadap sistem produksi secara keseluruhan. Keberhasilan alat tidak hanya dilihat dari kemampuan mencetak paving block, tetapi dari bagaimana alat tersebut dapat meningkatkan efisiensi, produktivitas, kualitas, dan kemudahan kerja. Hubungan antara keempat aspek tersebut menjadi dasar bahwa rancangan alat merupakan bagian dari perbaikan sistem kerja, bukan hanya pengembangan produk mekanik.

3.9 Implikasi terhadap Pengelolaan Limbah Plastik

Alat yang dikembangkan dapat diterapkan sebagai bagian dari sistem pengolahan sampah berbasis ekonomi sirkular. Limbah plastik yang sebelumnya menjadi material buangan dapat diolah menjadi bahan baku paving block. Proses tersebut memberikan nilai tambah melalui tahapan pemilahan, pencacahan, pengolahan material, pencetakan, dan pemeriksaan kualitas.

Dengan kapasitas aktual sebesar 45,90 paving block per jam, alat berpotensi menghasilkan sekitar 275 paving block dalam enam jam produksi efektif. Kapasitas tersebut cukup untuk mendukung kegiatan produksi pada skala kelompok masyarakat, bank sampah, maupun usaha kecil. Selain mengurangi limbah plastik, produk yang dihasilkan memiliki fungsi tambahan berupa biopori. Dengan demikian, inovasi ini menggabungkan aspek pengelolaan limbah, produktivitas produksi, dan fungsi lingkungan dalam satu sistem.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa perancangan alat pencetak paving block daur ulang plastik berbasis biopori mampu meningkatkan efisiensi proses, produktivitas, konsistensi kualitas, dan penyederhanaan metode kerja. Alat menghasilkan paving block dengan dimensi yang relatif seragam dan lubang biopori yang terintegrasi pada proses pencetakan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dapat digunakan untuk mengembangkan teknologi tepat guna yang tidak hanya memperhatikan aspek teknis alat, tetapi juga memperhatikan hubungan antara manusia, mesin, material, metode, kualitas, produktivitas, dan lingkungan. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, analisis dapat diperluas pada biaya produksi per unit, produktivitas tenaga kerja, efisiensi penggunaan material, analisis ergonomi, dan kelayakan ekonomi, sehingga alat dapat dievaluasi secara lebih komprehensif sebelum diterapkan pada skala produksi yang lebih besar. Selain itu, perlu dilakukan pengujian kuat tekan untuk mengetahui kemampuan paving block dalam menerima beban serta pengujian laju infiltrasi air untuk mengevaluasi kemampuan lubang biopori dalam mendukung infiltrasi air ke dalam tanah. Pengujian tersebut diperlukan untuk melengkapi evaluasi kinerja produk dari aspek mekanis dan fungsi lingkungan, sehingga kelayakan paving block dapat dinilai secara lebih komprehensif sebelum diterapkan pada skala produksi yang lebih besar.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan alat pencetak paving block berbahan plastik daur ulang yang dilengkapi fitur biopori dengan mempertimbangkan aspek manusia, mesin, material, metode, produktivitas, kualitas, dan lingkungan. Alat yang dirancang memiliki dimensi 700 × 500 × 1.000 mm, kapasitas empat paving block dalam satu siklus produksi, serta menggunakan mekanisme tuas manual yang dioperasikan oleh satu operator. Integrasi pembentuk lubang biopori pada cetakan memungkinkan proses pencetakan paving block sekaligus pembentukan lubang biopori dalam satu tahapan, sehingga dapat menyederhanakan proses kerja. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh waktu siklus rata-rata sebesar 298 detik, kapasitas teoritis sebesar 48,32 paving block/jam, dan kapasitas aktual sebesar 45,90 paving block/jam dengan tingkat pemanfaatan kapasitas mencapai 95%. Dibandingkan metode manual, penggunaan alat mampu menurunkan waktu siklus sebesar 17,22%, mengurangi aktivitas kerja sebesar 30%, serta mengurangi gerakan utama operator sebesar 26,67%, yang menunjukkan adanya peningkatan efisiensi dan produktivitas kerja. Dari aspek kualitas, paving block yang dihasilkan memiliki dimensi rata-rata 200,4 × 100,3 × 60,5 mm dan diameter lubang biopori rata-rata 30,2 mm. Sebanyak 95% produk memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, sementara 5% produk mengalami cacat ringan pada bagian permukaan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan cetakan terintegrasi dapat menghasilkan produk dengan dimensi yang relatif seragam sekaligus mendukung standardisasi proses produksi. Secara keseluruhan, alat yang dikembangkan tidak hanya mampu mengolah limbah plastik menjadi paving block bernilai tambah, tetapi juga memberikan fungsi lingkungan melalui keberadaan lubang biopori. Rancangan ini berpotensi digunakan sebagai teknologi tepat guna pada bank sampah, kelompok masyarakat, TPS3R, maupun usaha kecil pengolahan limbah plastik dalam mendukung peningkatan produktivitas, efisiensi proses, kualitas produk, dan penerapan konsep ekonomi sirkular.

ACKNOWLEDGEMENT

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia melalui Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi (Ditjen Diktiristek) atas dukungan pendanaan penelitian melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) dengan nomor kontrak turunan 75/LL17/BOPTN PL BARU/2026. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada LPPM Universitas Sains dan Teknologi Indonesia (USTI) atas fasilitasi dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini.

REFERENCES

[1] T. Sugihardi *et al.*, "Model Pengelolaan Sampah Plastik Dalam Mendukung Green Economy," vol. XXX, no. Xxx, 2026.

[2] E. H. Ridwan, A. Rohmatin, A. Putra, N. F. Rachman, S. F. Insani, and N. Ramadhani, "Upaya Peningkatan Kesadaran Masyarakat terhadap Pengelolaan Sampah melalui Program Edukasi Visual di Desa Buniwangi," vol. 2, no. September, 2025.

[3] F. S. Hartanto, "Pencemaran Limbah Plastik dan Upaya Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan di Kota Pekanbaru," vol. 3, no. 1, pp. 14–26, 2025.

[4] K. P. Dwijayanti, A. J. Kyla, and J. D. Ansusanto, "Penerapan Kembali Limbah Plastik Sebagai Alternatif Bahan Konstruksi Jalan yang Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan," vol. 1, pp. 35–42, 2024.

[5] R. C. Tambunan and J. Saputri, "Pemanfaatan Sampah Plastik sebagai Material Paving Block," no. 4, pp. 1–9, 2024.

[6] S. Ramadhan *et al.*, "Pengolahan Limbah Plastik sebagai Material Paving Block di Desa Senanggalih, Lombok Timur," vol. 3, pp. 1326–1335, 2025.

[7] N. K. Handayani *et al.*, "Pengembangan paving block untuk jalan usaha tani menggunakan bottom ash residu pembakaran sampah domestik," pp. 275–281, 2026.

[8] P. A. P. Suwandi *et al.*, "Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Eco Paving Block di Kawasan Pantai Desaru Malaysia," vol. 01, no. 02, pp. 59–67, 2026.

[9] F. Naufan, I. N. Anisah, K. Sukma, A. Effendi, and N. S. Kharunisa, "Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Eco Paving Block di Desa Sambeng Pemalang," vol. 7, no. 1, pp. 47–54, 2025.

[10] A. B. Santoso, A. D. Muriyadi, I. Arya, and U. T. Pembangunan, "Pendampingan Pembuatan Paving Block dari Limbah Plastik Untuk Mengurangi Sampah Daur Ulang," vol. 6, pp. 397–400, 2025.

[11] B. H. Ngayakamo, "Investigation of plastic-sand paving blocks : A sustainable solution using recycled plastic waste," *Hybrid Adv.*, vol. 10, no. April, p. 100492, 2025, doi: 10.1016/j.hybadv.2025.100492.

[12] S. Anggraini, A. Mikha, A. Putra, S. Felix, and G. Ryanto, "Design Thinking pada Perancangan Produk Eco Paving Block TALENTA Conference Series Design Thinking pada Perancangan Produk Eco Paving Block," vol. 7, no. 1, pp. 0–5, 2024, doi: 10.32734/ee.v7i1.2290.

[13] M. Furkhan, I. Rais, and M. G. Baig, "Next Sustainability Permeable pavements for urban flood management : A review of applications , performance and future prospects," vol. 7, no. March, 2026.

[14] A. Iqbal and S. Beecham, "Permeable Pavements for Flood Control in Australia : Spatial Analysis of Pavement Design Considering Rainfall and Soil Data," 2022.

[15] S. N. Johari, M. R. Iskandar, M. I. Rasid, Supriyadi, S. Silfiyana, and I. Arifin, "Penerapan Teknologi Lubang Resapan Biopori di Desa Dahu," 2025.

[16] K. Arabella, A. R. Malika, and R. S. Saraswati, "Pengenalan Lubang Resapan Biopori Sebagai Upaya Warga Kawasan Padat Penduduk Mengatasi Banjir Limpasan Air Hujan," vol. 1, no. 1, pp. 19–23, 2026.

[17] E. Setiawan, H. Sulistiyono, D. Widianty, and S. Hidayat, "Zero Runoff dan Konservasi Air Tanah Melalui Pemanfaatan Paving Block Biopori di Kawasan Permukiman," vol. 2, no. 1, pp. 18–21, 2021.