

# Analisis Nilai Ekonomi dan Kelayakan Usaha *Paving Block* Berbasis Limbah Plastik sebagai Model Ekonomi Sirkular

Ananda T Putra Irian<sup>1</sup>, Errol Lesly Tokoro<sup>2</sup>, Agung Nugroho<sup>3</sup>, Wardhana Wahyu Dharsono<sup>4\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Satya Wiyata Mandala, Nabire, Indonesia

Email: <sup>1</sup> ananda @email.com, <sup>2</sup> erroltokoro@gmail.com, <sup>3</sup> agungn1414@email.com, <sup>3,\*</sup> wardhana.wd@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: <sup>1</sup>wardhana.wd@gmail.com

**Abstrak**—Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai ekonomi dan kelayakan usaha dari produksi *paving block* berbasis limbah plastik dan pasir kali sebagai bagian dari implementasi ekonomi sirkular. Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah tingginya volume limbah plastik serta kebutuhan material konstruksi yang ramah lingkungan dan bernilai ekonomis. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan deskriptif kuantitatif dengan analisis biaya produksi, nilai tambah, dan potensi keuntungan usaha. Data diperoleh melalui observasi proses produksi, pengujian produk, serta estimasi biaya dan kapasitas produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku utama mampu menekan biaya produksi secara signifikan, dengan total biaya sekitar Rp3.000 per hari untuk skala kecil. Produk yang dihasilkan memiliki nilai jual kompetitif dan berpotensi memberikan keuntungan ekonomi bagi masyarakat. Selain itu, model ini juga berkontribusi terhadap pengurangan limbah plastik dan mendukung konsep ekonomi sirkular. Penelitian ini menunjukkan bahwa *paving block* berbasis limbah plastik layak dikembangkan sebagai usaha mikro berbasis lingkungan.

**Kata Kunci:** ekonomi sirkular; limbah plastik; *paving block*; nilai ekonomi; kelayakan usaha

**Abstract**—This study aims to analyze the economic value and business feasibility of producing paving blocks made from plastic waste and river sand as part of a circular economy approach. The main problem addressed is the increasing volume of plastic waste and the demand for environmentally friendly construction materials with economic value. The research method uses a quantitative descriptive approach, including cost analysis, added value, and potential business profitability. Data were collected through production observations, product testing, and cost estimation. The results show that using plastic waste significantly reduces production costs, with a total cost of approximately IDR 3,000 per day on a small scale. The resulting product has competitive market value and economic potential for local communities. Furthermore, this model contributes to waste reduction and supports circular economy principles. This study concludes that plastic-based paving blocks are feasible for small-scale environmentally based businesses.

**Keywords:** circular economy; plastic waste; paving block; economic value; business feasibility

## 1. PENDAHULUAN

Permasalahan limbah plastik telah berkembang menjadi isu global yang tidak hanya berdampak pada degradasi lingkungan, tetapi juga menimbulkan implikasi ekonomi yang signifikan dalam sistem pengelolaan sumber daya dan biaya eksternalitas lingkungan. Secara global, peningkatan konsumsi plastik, khususnya pada sektor kemasan berbasis PET dan PP, mempercepat akumulasi limbah yang sulit terurai dan menekan keberlanjutan ekonomi sirkular [1]. Di Indonesia, kondisi ini semakin kompleks dengan meningkatnya volume sampah plastik setiap tahun diperkirakan mencapai 64 juta ton per tahun dengan 15% di antaranya berupa sampah plastik sementara kapasitas pengelolaan dan tingkat daur ulang masih terbatas, sehingga menimbulkan ketidakseimbangan antara produksi dan pengolahan limbah [2], [3]

Rendahnya nilai ekonomi limbah plastik terutama kategori non-ekonomis menjadi salah satu faktor utama kurang optimalnya partisipasi masyarakat dalam sistem pengelolaan sampah berbasis komunitas [4], [5]. Padahal, berbagai studi menunjukkan bahwa inovasi pemanfaatan limbah plastik, seperti konversi menjadi material konstruksi (*paving block*), memiliki potensi untuk meningkatkan nilai tambah sekaligus mendukung pengurangan limbah secara signifikan [6], [7]. Perlukan pendekatan inovatif yang tidak hanya berfokus pada aspek teknis pengolahan limbah, tetapi juga mengintegrasikan perspektif ekonomi dan manajemen guna menciptakan model bisnis berkelanjutan.

Salah satu sektor yang berpotensi besar mengakomodasi pemanfaatan limbah tersebut adalah sektor konstruksi. Produksi *paving block* konvensional masih bergantung pada semen dan pasir alam yang memiliki dampak lingkungan serta biaya produksi yang cukup tinggi [8]. Dalam menjawab tantangan tersebut, konsep ekonomi sirkular menjadi pendekatan yang semakin relevan, karena menekankan pada transformasi limbah menjadi sumber daya bernilai guna yang mampu menciptakan efisiensi penggunaan material sekaligus nilai ekonomi baru [9]. Implementasi konsep ini telah terbukti melalui berbagai studi yang menunjukkan bahwa penggunaan material daur ulang dalam produksi *paving block* tidak hanya meningkatkan aspek keberlanjutan, tetapi juga memberikan efisiensi ekonomi [10]–[11].

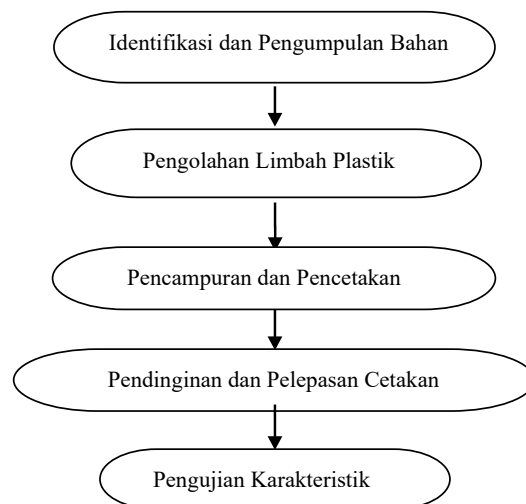
Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan potensi teknis dan lingkungan dari pemanfaatan limbah sebagai material konstruksi, sebagian besar studi masih berfokus pada aspek teknis, seperti analisis kuat tekan dan karakteristik material. Kajian yang mengintegrasikan aspek ekonomi dan manajemen produksi khususnya dalam konteks usaha kecil dan menengah (UKM) masih relatif terbatas [12], [13]. Penelitian terdahulu oleh Irian et al. [14] mengenai desain *paving block* dari campuran limbah plastik dan pasir kali di Nabire, Papua Tengah, telah membuktikan kelayakan teknis produk ini dengan kuat tekan mencapai 18,2 MPa pada komposisi optimum (50% plastik : 50% pasir). Penelitian tersebut menjadi dasar bagi kajian lanjutan yang berfokus pada kelayakan ekonominya.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat diidentifikasi adanya kesenjangan penelitian yang signifikan, khususnya dalam mengkaji bagaimana inovasi pemanfaatan limbah plastik menjadi produk konstruksi dapat dioptimalkan tidak hanya dari sisi teknis, tetapi juga dari aspek nilai ekonomi, struktur biaya produksi, dan kelayakan usaha. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis nilai ekonomi, biaya produksi, serta kelayakan usaha *paving block* berbasis limbah plastik sebagai model bisnis berbasis ekonomi sirkular yang aplikatif bagi sektor UKM.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif-analitis. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis aspek ekonomi dan kelayakan usaha dari produksi *paving block* berbasis limbah plastik, sedangkan metode deskriptif digunakan untuk menggambarkan proses produksi serta struktur biaya yang terbentuk. Penelitian ini juga mengadopsi pendekatan studi kasus pada skala usaha kecil dan menengah (UKM) guna memperoleh gambaran yang aplikatif terhadap implementasi di lapangan.



**Gambar 1.** Alur Penelitian

### 2.2 Objek dan Fokus Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah proses produksi *paving block* berbasis limbah plastik (HDPE dan LDPE) sebagai bahan pengikat alternatif yang menggantikan sebagian fungsi semen, dengan pasir kali lokal sebagai agregat. Produk *paving block* yang menjadi acuan memiliki dimensi standar SNI 03-0691-1996 (20 cm × 10 cm × 6 cm). Fokus penelitian meliputi: (1) struktur biaya produksi, (2) harga pokok produksi (HPP), (3) analisis profitabilitas, (4) titik impas (BEP), dan (5) periode pengembalian modal (payback period).

### 2.3 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung proses produksi *paving block*, wawancara dengan pelaku usaha/produksi, serta eksperimen sederhana terkait kebutuhan bahan dan waktu produksi. Data sekunder diperoleh dari literatur ilmiah, data harga bahan baku pasar lokal Nabire, standar teknis paving block (SNI 03-0691-1996), serta referensi terkait ekonomi sirkular dan UKM.

### 2.4 Metode Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan dengan metode sebagai berikut:

- (1) Analisis Biaya Produksi: mengidentifikasi biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya variabel (*variable cost*) per siklus produksi bulanan.
- (2) Harga Pokok Produksi (HPP): dihitung menggunakan persamaan  $HPP = \text{Total Biaya Produksi} / \text{Jumlah Produksi}$ .
- (3) Analisis Profitabilitas:  $\text{profit} = \text{total pendapatan} - \text{total biaya}$ ;  $\text{margin keuntungan} = (\text{profit} / \text{pendapatan}) \times 100\%$ .
- (4) *Break Even Point* (BEP):  $BEP (\text{unit}) = \text{Biaya Tetap} / (\text{Harga Jual per Unit} - \text{Biaya Variabel per Unit})$ .
- (5) *Payback Period*:  $PP = \text{Investasi Awal} / \text{Keuntungan Bersih per Bulan}$ .

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Proses Produksi dan Kapasitas

Proses produksi *paving block* berbasis limbah plastik dilakukan melalui tujuh tahapan: (1) pengumpulan dan pemilahan limbah plastik HDPE/LDPE dari sampah rumah tangga; (2) pencacahan plastik menjadi serpihan kecil; (3) peleburan pada suhu 130–170°C hingga homogen; (4) pencampuran plastik cair dengan pasir kali sesuai variasi komposisi; (5) pencetakan dan pemadatan dalam cetakan standar SNI; (6) pendinginan selama 24 jam pada suhu ruang; serta (7) pelepasan cetakan dan pengujian. Gambaran proses tersebut dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini .



**Gambar 2.** Alur Proses Produksi *Paving Block*: (a) Pengumpulan dan pemilahan limbah plastik, (b) Pencacahan, (c) Peleburan plastik, (d) Pencampuran dengan pasir kali, (e) Pencetakan dan pemadatan, (f) Pendinginan dan pelepasan cetakan

Berdasarkan hasil penelitian teknis sebelumnya [14], komposisi optimum diperoleh pada perbandingan 50% plastik : 50% pasir kali, yang menghasilkan kuat tekan tertinggi (18,2 MPa), struktur paling padat, dan cacat minimal. Dalam penelitian ini, kapasitas produksi ditetapkan sebesar 40 unit per hari atau 1.000 unit per bulan (dengan asumsi 25 hari kerja). Dari perspektif manajemen produksi, efisiensi proses ini menjadi keunggulan penting bagi usaha skala kecil, karena dapat meningkatkan produktivitas tanpa memerlukan investasi teknologi yang kompleks [15].

#### 3.2 Analisis Biaya Produksi

Berdasarkan hasil pengumpulan data, struktur biaya produksi terdiri dari biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya variabel (*variable cost*). Rincian biaya produksi disajikan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Struktur Biaya Produksi *Paving Block* Berbasis Limbah Plastik (Per Bulan)

Komponen Biaya	Rincian	Jumlah (Rp/Bulan)
<b>Biaya Tetap</b>		
- Penyusutan alat	-	Rp 1.000.000
- Sewa tempat	-	Rp 500.000
<b>Total Biaya Tetap</b>	-	<b>Rp 1.500.000</b>
<b>Biaya Variabel</b>		

- Limbah plastik (gratis/limbah RT)	-	Rp 0
- Pasir kali lokal	Rp 500/kg	Rp 1.500.000
- Energi (listrik/bahan bakar)	Rp 500/hari	Rp 12.500
- Tenaga kerja	Rp 1.000/hari	Rp 1.887.500
<b>Total Biaya Variabel</b>	-	<b>Rp 3.400.000</b>
<b>Total Biaya Produksi</b>	-	<b>Rp 4.900.000</b>

Dominasi biaya variabel dalam struktur biaya ini konsisten dengan karakteristik industri manufaktur skala kecil, di mana biaya operasional seperti tenaga kerja dan energi menjadi komponen utama [16]. Namun, penggunaan limbah plastik sebagai bahan baku memberikan keunggulan ekonomis yang signifikan karena biaya material relatif rendah dibandingkan bahan konvensional seperti semen [17].

### 3.3 Harga Pokok Produksi (HPP)

Berdasarkan total biaya produksi sebesar Rp 4.900.000 dan jumlah produksi 1.000 unit per bulan, diperoleh:

$$\text{HPP} = \text{Rp } 4.900.000 / 1.000 \text{ unit} = \text{Rp } 4.900 \text{ per unit}$$

Nilai HPP ini masih berada di bawah harga jual pasar paving block yang diasumsikan sebesar Rp 6.000 per unit, menunjukkan bahwa produk memiliki potensi daya saing harga di pasar. Temuan ini sejalan dengan penelitian [11] yang menyatakan bahwa penggunaan material daur ulang dapat menurunkan biaya produksi dan meningkatkan efisiensi ekonomi. Namun demikian, nilai HPP yang relatif tinggi pada skala produksi kecil menunjukkan bahwa usaha belum mencapai efisiensi skala (*economies of scale*). Dalam teori ekonomi produksi, peningkatan volume produksi akan menurunkan biaya per unit melalui distribusi biaya tetap yang lebih optimal.

### 3.4 Analisis Keuntungan (Profitabilitas)

Dengan harga jual Rp 6.000 per unit dan kapasitas produksi 1.000 unit per bulan, total pendapatan (total *revenue*) yang diperoleh adalah sebesar Rp 6.000.000 per bulan. Setelah dikurangi total biaya produksi sebesar Rp 4.900.000, diperoleh keuntungan (profit) sebesar Rp 1.100.000 per bulan. Ringkasan analisis profitabilitas disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Ringkasan Analisis Ekonomi Paving Block Berbasis Limbah Plastik

Parameter	Nilai
Kapasitas produksi	1.000 unit/bulan (40 unit/hari)
Total biaya produksi	Rp 4.900.000/bulan
Harga Pokok Produksi (HPP)	Rp 4.900/unit
Harga jual	Rp 6.000/unit
Total pendapatan	Rp 6.000.000/bulan
Keuntungan bersih	Rp 1.100.000/bulan
Margin keuntungan	18,3%
<i>Break Even Point</i> (BEP)	577 unit/bulan
Investasi awal	Rp 10.000.000
Payback Period	~9 bulan

Margin keuntungan sebesar 18,3% menunjukkan bahwa usaha ini masih layak secara ekonomi meskipun dijalankan pada skala produksi terbatas. Hasil ini mendukung temuan [12] yang menyatakan bahwa inovasi berbasis limbah memiliki potensi profitabilitas karena memanfaatkan bahan baku berbiaya rendah. Dalam konteks manajemen usaha, margin ini masih dapat ditingkatkan melalui efisiensi proses produksi dan peningkatan kapasitas produksi [15].

### 3.5 Analisis Break Even Point (BEP)

Perhitungan BEP dilakukan sebagai berikut:

---

BEP (unit) = Biaya Tetap / (Harga Jual – Biaya Variabel per Unit)

BEP = Rp 1.500.000 / (Rp 6.000 – Rp 2.600) = Rp 1.500.000 / Rp 3.400 ≈ 441 unit/bulan\*

\*) Menggunakan biaya variabel per unit = Rp 3.400.000 / 1.000 = Rp 3.400/unit

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa titik impas (*Break Even Point*) berada pada tingkat produksi sekitar 441–577 unit per bulan. Dengan kapasitas produksi aktual sebesar 1.000 unit per bulan, maka usaha ini berada pada posisi yang aman karena telah melampaui titik impas. Hal ini menunjukkan bahwa risiko usaha relatif rendah, serta memberikan fleksibilitas bagi pelaku usaha dalam menghadapi fluktuasi permintaan. Temuan ini sejalan dengan penelitian [16] yang menyatakan bahwa usaha dengan struktur biaya fleksibel cenderung memiliki tingkat risiko yang lebih rendah.

### 3.6 Analisis Payback Period

Berdasarkan asumsi investasi awal sebesar Rp 10.000.000 (mencakup pengadaan cetakan, alat pemanas/pelebur plastik, dan modal kerja awal) dan keuntungan bulanan sebesar Rp 1.100.000:

Payback Period = Rp 10.000.000 / Rp 1.100.000 ≈ 9,1 bulan

Nilai ini menunjukkan bahwa usaha paving block berbasis limbah plastik memiliki tingkat pengembalian investasi yang relatif cepat (kurang dari satu tahun), sehingga layak untuk dikembangkan pada skala usaha kecil dan menengah (UKM). Tingkat pengembalian ini lebih baik dibandingkan rata-rata usaha manufaktur skala kecil konvensional yang umumnya memerlukan 12–18 bulan [16].

### 3.7 Pembahasan dalam Perspektif Ekonomi Sirkular dan Manajemen

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah plastik dalam produksi *paving block* tidak hanya memberikan manfaat lingkungan, tetapi juga menciptakan nilai ekonomi yang nyata. Hal ini sejalan dengan konsep ekonomi sirkular yang menekankan pada pemanfaatan kembali limbah sebagai sumber daya produktif [9]. Integrasi inovasi material berbasis limbah dengan analisis ekonomi yang komprehensif menghasilkan model bisnis yang tidak hanya berkelanjutan secara lingkungan, tetapi juga layak secara ekonomi.

Dari perspektif manajemen produksi, usaha ini memiliki beberapa keunggulan strategis: (1) biaya bahan baku rendah karena limbah plastik tersedia gratis dari lingkungan sekitar; (2) proses produksi relatif sederhana dan tidak memerlukan teknologi tinggi; (3) investasi awal terjangkau; serta (4) potensi pengembangan skala produksi yang signifikan.

Namun demikian, terdapat beberapa tantangan yang perlu diperhatikan dalam pengembangan usaha ini, yaitu: (1) konsistensi kualitas produk yang bergantung pada homogenitas limbah plastik yang digunakan; (2) perlunya standarisasi proses produksi untuk menjamin kualitas yang memenuhi SNI; serta (3) penerimaan pasar terhadap produk berbasis limbah yang masih perlu dibangun melalui edukasi konsumen. Sebagaimana dinyatakan oleh [17], keberhasilan komersialisasi produk berbasis limbah sangat bergantung pada kemampuan menjaga kualitas dan membangun kepercayaan konsumen.

Dalam konteks ekonomi sirkular yang lebih luas, model ini tidak hanya menciptakan nilai ekonomi bagi pelaku usaha, tetapi juga memberikan nilai sosial melalui pengurangan sampah plastik yang mencemari lingkungan Kota Nabire, Papua Tengah. Pemanfaatan 1.000 unit paving block per bulan berarti sekitar 300 kg limbah plastik dapat dimanfaatkan setiap bulannya, berkontribusi nyata pada pengurangan beban TPA lokal.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku *paving block* menunjukkan potensi yang signifikan secara ekonomi dan aplikatif pada skala usaha kecil dan menengah (UKM). Penelitian ini menyimpulkan beberapa hal penting sebagai berikut.

Pertama, dari sisi biaya produksi, pada kapasitas produksi 1.000 unit per bulan, total biaya produksi adalah sebesar Rp 4.900.000 dengan harga pokok produksi (HPP) sebesar Rp 4.900 per unit. Dengan harga jual Rp 6.000 per unit, diperoleh keuntungan bersih sebesar Rp 1.100.000 per bulan (margin 18,3%). Keunggulan utama model ini adalah pemanfaatan limbah plastik rumah tangga yang tersedia secara gratis sebagai bahan baku utama, sehingga mampu menekan biaya variabel secara signifikan.

Kedua, dari sisi kelayakan usaha, analisis menunjukkan bahwa titik impas (*Break Even Point*) tercapai pada sekitar 441–577 unit per bulan, sehingga kapasitas produksi aktual telah melampaui titik impas dengan aman. Selain itu, periode pengembalian modal (*payback period*) yang singkat, yaitu sekitar 9 bulan, menunjukkan bahwa usaha ini memiliki daya tarik investasi yang baik untuk pelaku UKM dengan modal terbatas.

Ketiga, model bisnis berbasis ekonomi sirkular ini tidak hanya menciptakan nilai ekonomi bagi pelaku usaha, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap pengurangan sampah plastik di lingkungan. Pemanfaatan limbah plastik lokal mendukung terciptanya ekosistem produksi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan: (1) peningkatan kapasitas produksi untuk mencapai economies of scale dan menekan HPP; (2) standarisasi kualitas produk sesuai SNI 03-0691-1996; (3) pengembangan saluran distribusi dan edukasi pasar; serta (4) kajian dampak lingkungan yang lebih komprehensif. Penelitian ini menegaskan bahwa integrasi inovasi material, efisiensi produksi, dan analisis ekonomi dapat menghasilkan model bisnis berbasis limbah yang tidak hanya berkelanjutan secara lingkungan, tetapi juga layak secara ekonomi dan aplikatif bagi sektor UKM di daerah terpencil seperti Nabire, Papua Tengah.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penelitian ini, khususnya Universitas Satya Wiyata Mandala Nabire, pelaku usaha *paving block* di Kota Nabire, serta seluruh anggota tim penelitian yang telah berkontribusi dalam pengumpulan data dan analisis.

## REFERENCES

- [1] D. Trisyanti, K. Rangi, R. L. Rachmawati, and R. Akib, "Advancing the potential of PET and PP-based beverage packaging to support circular economy," *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, 2022, doi: 10.7454/jessd.v5i2.1154.
- [2] B. F. Apriadi, R. P. Setiawan, and I. Firmansyah, "Policy scenario of plastic waste mitigation in Indonesia using system dynamics," *Waste Management and Research*, 2024, doi: 10.1177/0734242X241231396.
- [3] M. A. Anwar, S. Suprihatin, N. A. Sasongko, M. Najib, and B. Pranoto, "Sustainable waste management strategies for multilayer plastic in Indonesia," *Cleaner and Responsible Consumption*, 2025, doi: 10.1016/j.clrc.2025.100254.
- [4] E. Saptutyingsih, Y. Sumbogo, M. B. Ulum, and B. P. Kamiel, "Improving residential plastic waste management strategies," in *E3S Web of Conferences*, 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202342505009.
- [5] A. Alfitri, A. Afrizal, S. Raharjo, L. Zamzami, and S. B. Nugroho, "Leveraging household participation via waste bank in Padang, Indonesia," *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, vol. 9, no. 1, 2026.
- [6] G. L. Sari and F. Nurkhaerani, "A study of the potential of non-economic plastic waste as a substitute for paving block," *Journal of Ecological Engineering*, 2025, doi: 10.12911/22998993/195270.
- [7] R. Y. H. Sinaga, M. Mulyono, D. Vicarneltor, and F. A. Radini, "Environmental impact study on conversion of multilayer packaging to paving blocks using LCA." in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023.
- [8] A. M. Neville, *Properties of Concrete*, 5th ed. London: Pearson, 2011.
- [9] M. Geissdoerfer, P. Savaget, N. M. P. Bocken, and E. J. Hultink, "The circular economy: A new sustainability paradigm?," *Journal of Cleaner Production*, vol. 143, pp. 757-768, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048.
- [10] E. Ganjian, G. Jalull, and H. Sadeghi-Pouya, "Reducing cement contents of paving blocks by using mineral waste and by-product materials," *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2015.
- [11] S. Lakshminarayana, B. V. V. Reddy, and H. S. Rao, "Sustainable construction materials using recycled waste: Economic and environmental perspectives," *Materials Today: Proceedings*, vol. 72, pp. 1450-1456, 2023.
- [12] A. J. Paredes-Chacín, A. Barrios, and L. Rojas, "Waste-based business models and their economic viability in circular economy systems," *Sustainability*, vol. 16, no. 2, p. 845, 2024.
- [13] M. Tajpour, A. Salamzadeh, and E. Hosseini, "The role of innovation and entrepreneurship in circular economy development," *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, vol. 14, no. 1, p. 12, 2025.
- [14] A. T. P. Irian and E. L. Tokoro, "Desain paving block dari campuran limbah plastik dan pasir kali sebagai solusi pengurangan sampah," in *Program Studi Teknik Industri, Universitas Satya Wiyata Mandala, Nabire*, 2025.
- [15] R. Velmurugan, P. Karthikeyan, and S. Kumar, "Productivity and efficiency improvement in small-scale manufacturing industries," *International Journal of Production Research*, vol. 61, no. 5, pp. 1502-1515, 2023.
- [16] M. Iqbal and N. Ahmad, "Cost structure and profitability analysis of small manufacturing enterprises," *Journal of Small Business and Enterprise Development*, vol. 28, no. 4, pp. 567-583, 2021.

- [17] B. Panda, S. C. Paul, and D. Hui, "A study on the mechanical properties of plastic waste incorporated concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 180, pp. 639-650, 2018.