



PAPER – OPEN ACCESS

Pemanfaatan Limbah Plastik HDPE Sebagai Alternatif Paving Block dengan Pendekatan Integrasi Design Of Experiment (DOE) dan Quality Function Deployment (QFD)

Author : Rakha Arkananta Rangkuti, et al
DOI : 10.32734/ee.v9i2.2788
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 9 Issue 2 – 2026 TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Pemanfaatan Limbah Plastik HDPE Sebagai Alternatif Paving Block dengan Pendekatan Integrasi Design Of Experiment (DOE) dan Quality Function Deployment (QFD)

Rakha Arkananta Rangkuti, Bezaleel Gabriel Saragih, Ghina Roudhotul Jannah, Monika Situmorang, Nurul Annisa

*Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jln. Dr.T. Mansyur No. 9
Padang Bulam, Medan 20155, Indonesia*

rakharangkuti@gmail.com, gabrielbezaleel3@gmail.com, ghinajannah.os@gmail.com, monicatiofanny29@gmail.com,
annisa.nurul0905@gmail.com

Abstrak

Permasalahan limbah plastik HDPE dan tuntutan paving block yang sesuai kebutuhan pengguna mendorong pendekatan desain yang komprehensif. Penelitian ini mengintegrasikan Design of Experiment (DOE) berbasis Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan Quality Function Deployment (QFD) untuk mengembangkan paving block ramah lingkungan dari limbah HDPE. QFD digunakan untuk menangkap Voice of Customer (VoC) dari lima segmen pengguna—pengelola parkir, kontraktor, Dinas PU, pengelola taman, dan pengguna umum—yang diterjemahkan ke parameter teknis melalui House of Quality (HoQ). Hasil HoQ menetapkan kuat tekan dan kepatuhan SNI sebagai prioritas tertinggi (bobot absolut 140), sehingga kuat tekan dipilih sebagai variabel dependen utama DOE. DOE menguji tiga formulasi berbasis HDPE 50% dengan variasi oli dan pasir. ANOVA menunjukkan perbedaan signifikan antar formulasi pada kuat tekan ($F=28,357$; $p=0,001$) dan berat ($F=16,178$; $p=0,004$). Formulasi P1 (HDPE 50% + Oli 50%) menghasilkan kuat tekan tertinggi 17,68 MPa (Mutu B, SNI 03-0691-1996), selaras dengan segmen kontraktor dan Dinas PU yang memiliki skor VoC tertinggi (4,25–4,75), sekaligus memenuhi syarat area parkir (≥ 15 MPa). Integrasi DOE-QFD menghasilkan produk yang optimal secara teknis sekaligus relevan dengan kebutuhan pengguna nyata.

Kata Kunci: Limbah Plastik; HDPE; Paving Block; Design of Experiment; Quality Function Deployment; House of Quality; Kuat Tekan;

Abstract

The challenge of HDPE plastic waste management and user-demand alignment in paving block development calls for a comprehensive design approach. This study integrates a Design of Experiment (DOE) using a Completely Randomized Design (CRD) with Quality Function Deployment (QFD) to develop eco-friendly paving blocks from HDPE waste. QFD captured the Voice of Customer (VoC) from five user segments—parking managers, contractors, public works agencies, garden managers, and general users—translated into technical parameters via a House of Quality (HoQ). The HoQ identified compressive strength and SNI compliance as top-priority parameters (absolute weight 140 each), designating compressive strength as the primary DOE dependent variable. Three formulations (50% HDPE with varying oil and sand ratios) were tested. ANOVA confirmed significant differences in compressive strength ($F=28.357$; $p=0.001$) and weight ($F=16.178$; $p=0.004$). Formulation P1 (50% HDPE + 50% oil) achieved the highest compressive strength of 17.68 MPa (Quality B, SNI 03-0691-1996), aligning with the highest-priority VoC segments—contractors and the Public Works Agency (mean scores 4.25–4.75)—while meeting the ≥ 15 MPa requirement for parking areas. The DOE-QFD integration yields a product that is both technically optimal and demonstrably user-relevant.

Keywords: Plastic Waste; HDPE; Paving Block; Design of Experiment; Quality Function Deployment; House of Quality; Compressive Strength

1. Introduction

Plastik adalah zat non-organik yang membutuhkan puluhan, ratusan, atau bahkan ribuan tahun untuk terurai. Seiring pertumbuhan penduduk Indonesia, perkembangan aktivitas baru, dan perubahan gaya hidup masyarakat, konsumsi plastik di negara ini terus meningkat [1]. Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 menyatakan bahwa pengelolaan sampah plastik, yang sebagian besar berasal dari sampah rumah tangga yang tidak dikelola dengan baik, harus dilakukan secara metodis, menyeluruh, dan berkelanjutan karena dapat menimbulkan sejumlah dampak buruk terhadap lingkungan, seperti menghalangi sungai dan

saluran air, yang dapat mengakibatkan banjir. Sampah organik mencapai 60–70% dari seluruh sampah di Indonesia, sedangkan sampah plastik—khususnya kantong plastik—mencapai 14% [2].

Sebagai contoh, produksi sampah di Kota Medan mencapai sekitar 2.000 ton per hari, tetapi hanya sekitar 800 ton yang dapat ditampung di tempat pembuangan akhir (TPA). Akibatnya, kapasitas TPA—termasuk TPA Terjun di Kabupaten Medan Marelan, yang telah beroperasi sejak tahun 1993—terbebani oleh peningkatan volume dan karakteristik sampah. Kekhawatiran publik telah muncul akibat kesenjangan antara jumlah sampah yang dihasilkan dan yang diproses, sehingga diperlukan inovasi dalam penggunaan kembali sampah plastik. Salah satu inovasi tersebut adalah produksi paving block dari plastik untuk mengurangi dampak lingkungan sekaligus menghasilkan produk konstruksi bernilai tinggi [3]. Plastik memiliki karakteristik unggul seperti kuat, tahan korosi, ringan, awet, ekonomis, serta memiliki sifat isolasi yang baik, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bangunan, khususnya plastik jenis HDPE (High Density Polyethylene) yang aman dan tidak bereaksi secara kimia, dengan kebutuhan sekitar 1 kg plastik untuk setiap unit paving block yang dapat digunakan pada berbagai area serta memiliki nilai estetika melalui variasi warna menarik [4].

Penelitian ini juga menekankan pada pemilihan material utama berupa plastik jenis HDPE (High Density Polyethylene) yang dikenal memiliki sifat mekanik unggul, seperti kekuatan yang tinggi, ketahanan terhadap deformasi, serta sifat elastis yang baik dibandingkan jenis plastik lainnya. Karakteristik tersebut menjadikan HDPE berpotensi sebagai material alternatif dalam pembuatan paving block yang tidak hanya ringan dan tahan terhadap lingkungan, tetapi juga memiliki kemampuan menahan beban yang kompetitif. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan berbagai jenis plastik campuran, penelitian ini secara spesifik berfokus pada penggunaan HDPE untuk mengeksplorasi potensi maksimal sifat mekaniknya. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengkaji pemanfaatan limbah plastik, tetapi juga mengarah pada pengembangan material konstruksi alternatif yang memiliki performa mekanik yang mendekati paving block konvensional berbasis semen [5], khususnya pada aplikasi non-struktural.

Meskipun penelitian-penelitian terdahulu telah membuktikan potensi teknis paving block berbasis plastik, terdapat gap yang signifikan dalam hal orientasi terhadap kebutuhan pengguna. Sebagian besar studi hanya berfokus pada optimasi parameter teknis seperti kuat tekan dan proporsi bahan, tanpa mempertimbangkan apakah spesifikasi yang dihasilkan benar-benar sesuai dengan kebutuhan nyata segmen pengguna yang berbeda-beda [6]. Pendekatan Quality Function Deployment (QFD) hadir sebagai solusi untuk menjembatani gap tersebut dengan cara menerjemahkan suara pelanggan (Voice of Customer/VoC) secara sistematis ke dalam parameter teknis yang terukur melalui alat House of Quality (HoQ) [7]. Integrasi QFD dengan DOE memungkinkan penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi formulasi terbaik secara statistik, tetapi juga memastikan bahwa formulasi tersebut relevan dan memiliki nilai guna tinggi bagi pengguna akhir, sehingga meningkatkan potensi adopsi produk di lapangan.

2. Metode Penelitian

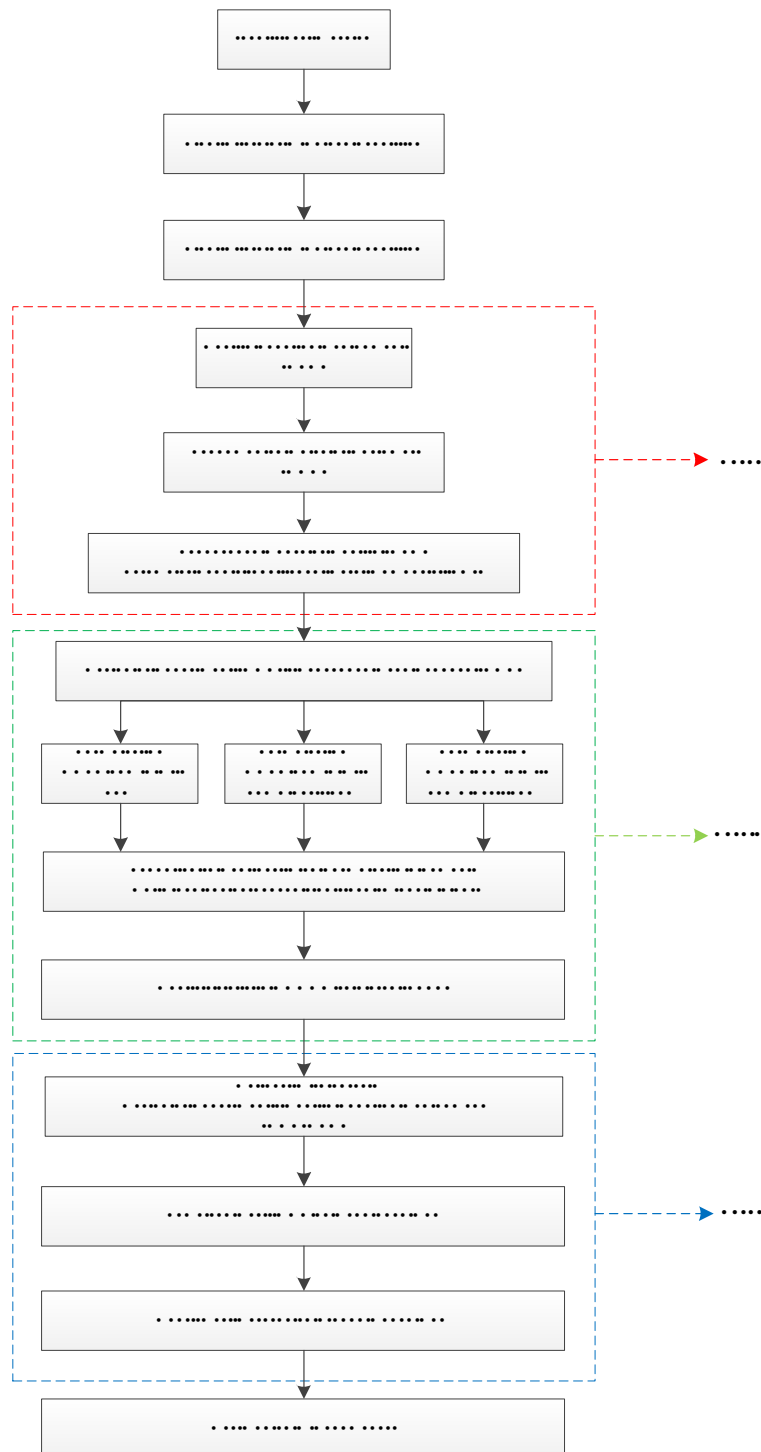
Meningkatnya jumlah sampah plastik, yang berbahaya bagi lingkungan dan sulit terurai, menjadi pendorong dilakukannya.

Pemilihan Karena sifat mekaniknya yang kuat dan elastis, plastik Polietilen Densitas Tinggi (HDPE) memiliki kemampuan untuk menghasilkan barang berkualitas tinggi. Komposisi material yang digunakan untuk membuat blok paving memiliki dampak signifikan pada sifat produk akhir, khususnya berat dan kekuatan tekannya. Untuk menguji dampak perbedaan komposisi material terhadap kualitas blok paving, penelitian ini menggunakan pendekatan Desain Eksperimen (DOE) [8]. P1, P2, dan P3 adalah tiga perlakuan yang membentuk variasi komposisi. Blok paving yang dihasilkan kemudian diuji berat dan kekuatan tekannya. Untuk mengidentifikasi perbedaan signifikan antar perlakuan, ANOVA digunakan untuk memeriksa data uji.

2.1 Pendekatan Quality Function Deployment (QFD)

Salah satu teknik untuk menangkap permintaan pelanggan dan mengubahnya menjadi spesifikasi teknis produk yang terukur adalah Quality Function Deployment (QFD) [9]. Untuk memastikan bahwa parameter teknis yang diperiksa dalam penelitian ini secara akurat mencerminkan kebutuhan pengguna paving block di lapangan, QFD digunakan sebagai langkah pertama sebelum eksperimen dilakukan [10].

Dua puluh responden dari lima segmen pengguna—pengelola area parkir (4 responden), kontraktor (4 responden), Departemen Pekerjaan Umum/lembaga terkait (4 responden), pengelola taman dan ruang hijau (4 responden), dan pengguna umum (4 responden)—diberikan kuesioner terstruktur untuk diisi guna mengumpulkan kebutuhan pelanggan.



House of Quality (HoQ), instrumen QFD utama, kemudian digunakan untuk memproses respons kuesioner. HoQ adalah matriks yang menghubungkan parameter teknis produk di sisi kolom dengan keinginan pelanggan di sisi baris. Kekuatan tekan (MPa), berat per unit (kg), persentase HDPE (%), persentase minyak pengikat (%), persentase pasir (%), dan kesesuaian dengan

SNI 03-0691-1996 termasuk di antara parameter teknis yang didokumentasikan dalam penelitian ini. Tiga tingkatan digunakan untuk menentukan kekuatan.

Bobot absolut setiap parameter teknis dihitung dari hasil perkalian antara tingkat kepentingan pelanggan dan bobot hubungan, kemudian dijumlahkan untuk seluruh kebutuhan. Parameter dengan bobot absolut tertinggi menjadi prioritas utama dalam tahap DOE. Hasil HoQ menunjukkan bahwa kuat tekan dan kepatuhan SNI memperoleh bobot absolut tertinggi secara bersamaan, masing-masing sebesar 140, dan menempati prioritas pertama. Mengingat kuat tekan merupakan parameter yang dapat dimanipulasi secara langsung melalui variasi komposisi bahan, parameter ini ditetapkan sebagai variabel dependen utama dalam tahap DOE, didukung oleh berat per unit sebagai variabel dependen pendukung (bobot absolut 84, prioritas kelima). Temuan ini memberikan justifikasi ilmiah berbasis kebutuhan pengguna atas pemilihan kedua parameter tersebut sebagai indikator kualitas utama paving block dalam penelitian ini.

Tabel 1 Hasil Identifikasi Voice of Customer (VoC) Paving Block Limbah HDPE

No	Segmen Pelanggan	Kebutuhan Utama	Tingkat Kepentingan
1	Pengelola Area Parkir	Kuat tekan tinggi (≥ 15 MPa), tahan beban kendaraan	★★★★☆ Tinggi (4)
2	Kontraktor	Kuat tekan, permukaan tidak licin, konsistensi produk	★★★★★ Sangat Tinggi (5)
3	Dinas PU	Memenuhi SNI, berat ringan, harga ekonomis	★★★★★ Sangat Tinggi (5)
4	Pengelolaan Taman	Ramah lingkungan, ringan, kuat tekan minimal ($\geq 8,5$ MPa)	★★★★☆ Tinggi (4)
5	Pengguna Umum	Harga terjangkau, mudah dipasang, estetika	★★★☆☆ Sedang (3)

2.2 Alat dan Bahan

Sampah plastik jenis High Density Polyethylene (HDPE), minyak bekas sebagai pengikat, dan pasir sebagai agregat tambahan termasuk di antara komponen yang digunakan dalam penelitian ini.



a. Plastik HDPE



b. Oli Bekas



c. Pasir

Gambar 2 Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan antara lain timbangan untuk mengukur massa bahan, wadah pembakaran untuk proses pelelehan plastik, kompor sebagai sumber panas, cetakan paving block, spatula untuk meratakan campuranserta alat untuk mengevaluasi kekuatan tekan blok paving [11].



Gambar 3 Alat Uji Kuat Tekan (Compression Testing Machine)

2.3 Desain Eksperimen

Metode penelitian yang digunakan adalah Design of Experiment (DOE) dengan pendekatan Rancangan Acak Lengkap (CRD) dengan satu faktor digunakan. Perubahan komposisi material merupakan faktor yang diuji. Dalam penelitian ini, tiga perlakuan digunakan: P1, P2, dan P3. Untuk meningkatkan validitas data, setiap perlakuan dilakukan tiga kali, menghasilkan sampel sembilan unit paving block. Tiga replikasi untuk setiap perlakuan ditentukan dengan mempertimbangkan fakta bahwa RAL dengan setidaknya tiga replikasi memenuhi persyaratan minimum untuk derajat kebebasan kesalahan (kesalahan db = 6) yang diperlukan untuk analisis ANOVA yang valid pada tingkat kepercayaan 95% dan merupakan standar yang diakui secara luas dalam penelitian eksplorasi untuk material konstruksi alternatif, seperti yang diterapkan dalam studi serupa oleh [12] berikut :

Tabel 2 Formulasi Komposisi Paving Block

Perlakuan	HDPE (%)	Oli (%)	Pasir (%)
P1	50	50	0
P2	50	30	20
P3	50	20	30

2.4 Variabel Penelitian

1. Variabel independen (bebas) dalam penelitian ini adalah variasi komposisi bahan paving block yang terdiri dari tiga formulasi, yaitu Formulasi 1 (HDPE 50% + oli 50%), Formulasi 2 (HDPE 50% + oli 30% + pasir 20%), dan Formulasi 3 (HDPE 50% + oli 20% + pasir 30%).
2. Variabel dependen (terikat) yang diamati meliputi dua parameter, yaitu berat paving block (kg) yang diukur menggunakan timbangan digital, dan kuat tekan paving block (MPa) yang diukur menggunakan *compression testing machine* setelah masa curing 18 hari. Penetapan durasi curing 18 hari didasarkan pada karakteristik material HDPE yang bersifat termoplastik, bukan material berbasis semen, sehingga stabilitas dimensi dan kekuatan mekanik matriksnya telah tercapai setelah pendinginan dan stabilisasi termal sempurna tanpa memerlukan proses hidrasi 28 hari sebagaimana pada paving block konvensional berbasis semen. Kedua parameter ini dipilih karena merupakan indikator utama kualitas paving block berdasarkan SNI 03-0691-1996.

2.5 Prosedur Penelitian

Proses pembuatan paving block dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis sebagai berikut:

1. Persiapan Bahan Limbah plastik jenis HDPE yang telah dikumpulkan dari TPA Terjun, Medan Marelan, dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran dan kontaminan. Plastik kemudian dipotong menjadi ukuran kecil untuk mempermudah proses pelelehan. Oli bekas dan pasir juga disiapkan sesuai kebutuhan masing-masing formulasi.
2. Penimbangan Bahan Bahan ditimbang menggunakan timbangan sesuai komposisi masing-masing perlakuan berdasarkan Tabel 2. Total massa bahan untuk setiap unit paving block adalah ± 1 kg.
3. Pelelehan Plastik HDPE Plastik HDPE dimasukkan ke dalam wadah pembakaran dan dipanaskan menggunakan kompor hingga mencapai kondisi cair sempurna pada suhu sekitar 278°C. Proses pelelehan dilakukan secara bertahap sambil diaduk menggunakan spatula agar homogen.
4. Pencampuran Bahan Setelah plastik mencair, oli bekas ditambahkan sebagai bahan pengikat dan diaduk hingga merata. Untuk Formulasi 2 dan Formulasi 3, pasir ditambahkan secara bertahap sesuai komposisi yang telah ditentukan dan diaduk hingga campuran homogen.
5. Pencetakan dan Pemadatan Campuran yang telah homogen dituangkan ke dalam cetakan paving block. Pemadatan dilakukan menggunakan alat press untuk memastikan tidak ada rongga udara di dalam produk sehingga kepadatan merata.
6. Pendinginan dan Pelepasan Cetakan Cetakan dibiarkan hingga campuran mengeras pada suhu ruang. Setelah mengeras, paving block dilepaskan dari cetakan dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan pada produk.
7. Paving block yang telah dicetak kemudian di-curing selama 18 hari sebelum dilakukan pengujian. Durasi 18 hari ini dipilih karena HDPE merupakan material termoplastik yang kekuatannya telah stabil setelah proses pendinginan sempurna, sebagaimana diterapkan pada penelitian sejenis oleh Krasna et al. (2019). Proses ini bertujuan untuk memastikan kestabilan dimensi dan kekuatan mekanik produk sebelum diuji.

2.6 Pengujian dan Analisis Data

Pengujian dalam penelitian ini meliputi dua parameter utama, yaitu pengujian berat dan pengujian kuat tekan paving block.

1. Setiap sampel blok paving ditimbang menggunakan timbangan digital dengan akurasi 0,01 kg untuk melakukan pengujian berat. Data berat untuk setiap perlakuan dan pengulangannya diperoleh dengan menguji setiap objek uji dari tiga formulasi sebelum pengujian kekuatan tekan..
2. Setelah spesimen uji berumur delapan belas hari, mesin uji tekan digunakan untuk menguji kekuatan tekan. Rentang waktu ini penting untuk produk berbasis HDPE karena, tidak seperti semen, proses pengerasan bergantung pada stabilitas termal yang dicapai selama periode tersebut, bukan reaksi hidrasi. Setelah dimasukkan ke dalam alat uji tekan, setiap sampel diberi beban secara bertahap hingga mengalami kegagalan. Beban tertinggi yang dapat ditahan dibagi dengan luas penampang spesimen uji menghasilkan nilai kekuatan tekan, yang dinyatakan dalam megapascal (MPa). Klasifikasi kualitas paving block kemudian ditentukan dengan membandingkan hasil uji kekuatan tekan dengan standar SNI 03-0691-1996..
3. Untuk memastikan apakah ketiga formulasi tersebut berbeda secara signifikan, analisis varians satu arah (ANOVA) digunakan untuk menganalisis data. Pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$), dua hipotesis diuji: H_0 : tidak ada perbedaan signifikan antara formulasi, dan H_1 : ada perbedaan signifikan antara formulasi. Untuk memastikan formulasi mana yang berbeda secara statistik dan memberikan hasil terbaik, uji post hoc Duncan digunakan setelah H_0 ditolak jika nilai signifikansi (p-value) kurang dari 0,05. Perangkat lunak SPSS digunakan untuk semua analisis statistik.

2.7 Uji Validitas dan Reliabilitas Kuesioner

Sebelum kuesioner diberikan kepada setiap responden, uji validitas dan reliabilitas dilakukan untuk menjamin validitas dan reliabilitas alat ukur. Uji validitas dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS dan metode Korelasi Item-Total yang Dikoreksi. Item dianggap sah jika nilai r yang dihitung lebih besar dari nilai r tabel pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Dengan 20 responden, nilai r tabel adalah 0,444.

Tabel 3 Kuesioner VoC

No	Item Pertanyaan	r Hitung	r Tabel ($\alpha=0,05$; n=20)	Keterangan
1	Kuat Tekan (≥ 15 MPa)	0,968	0,444	Valid
2	Tahan Beban Kendaraan	0,844	0,444	Valid
3	Permukaan Tidak Licin	0,911	0,444	Valid
4	Tidak Berat	0,880	0,444	Valid
5	Ramah Lingkungan	0,968	0,444	Valid
6	Memenuhi Standar SNI	0,844	0,444	Valid
7	Harga Ekonomis	0,880	0,444	Valid
8	Konsistensi dimensi & Kualitas	0,968	0,444	Valid

Tabel 3 menunjukkan bahwa setiap item kuesioner dianggap autentik karena nilai r yang dihitung untuk setiap item lebih besar dari nilai r tabel sebesar 0,444. Selain itu, uji reliabilitas dilakukan menggunakan pendekatan Alpha Cronbach. Suatu instrumen dianggap dapat diandalkan jika nilai Alpha Cronbach-nya lebih besar dari 0,600. Skor Alpha Cronbach sebesar 0,977 diperoleh dari uji reliabilitas, yang menunjukkan bahwa instrumen kuesioner yang digunakan dalam penelitian ini dapat diandalkan dan dapat dipercaya sebagai metode penilaian yang konsisten.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengumpulan Data Kuesioner Voice of Customer (VoC)

Kuesioner VoC disebarkan kepada 20 responden yang terdiri dari lima segmen pengguna paving block dengan metode purposive sampling. Setiap segmen diwakili oleh 4 responden yang dipilih berdasarkan keterlibatan langsung dalam penggunaan atau pengawasan paving block di lapangan. Hasil rekapitulasi.

Tabel 4 Rekapitulasi Rata-Rata Skor VoC per Segmen Pelanggan

No	Item Kebutuhan (VoC)	Seg. 1 Parkir	Seg. 2 Kontraktor	Seg. 3 Dinas PU	Seg. 4 Taman	Seg. 5 Umum	Rata-rata Keseluruhan	Tingkat Kepentingan
1	B1 — Kuat tekan tinggi (≥ 15 MPa)	3,00	4,75	4,25	4,25	2,50	3,75	★★★★☆ Tinggi
2	B2 — Tahan beban kendaraan	3,50	4,25	4,25	4,00	3,00	3,80	★★★★☆ Tinggi
3	B3 — Permukaan tidak licin	3,00	4,50	4,25	4,25	2,50	3,70	★★★★☆ Tinggi
4	B4 — Berat ringan-sedang (mudah pasang)	3,50	4,25	4,75	4,00	2,75	3,85	★★★★☆ Tinggi
5	B5 — Ramah lingkungan (bahan daur ulang)	3,00	4,75	4,25	4,25	2,50	3,75	★★★★☆ Tinggi
6	B6 — Memenuhi standar SNI	3,50	4,25	4,25	4,00	3,00	3,80	★★★★☆ Tinggi
7	B7 — Harga ekonomis	3,50	4,25	4,75	4,00	2,75	3,85	★★★★☆ Tinggi
8	B8 — Konsistensi dimensi & kualitas	3,00	4,75	4,25	4,25	2,50	3,75	★★★★☆ Tinggi

Menurut Tabel 4, setiap atribut persyaratan memiliki tingkat prioritas rata-rata lebih tinggi dari 3,70, yang berarti bahwa responden menganggap setiap aspek itu penting. Karena fokus teknis dan regulasi yang kuat, divisi Kontraktor dan Departemen Pekerjaan Umum secara teratur menerima peringkat tertinggi untuk hampir setiap item. Meskipun item B3 (permukaan tidak licin) memiliki rata-rata terendah yaitu 3,70 tetapi masih berada di kategori teratas, item B4 (berat ringan-sedang) dan B7 (harga ekonomis) memiliki rata-rata keseluruhan tertinggi yaitu 3,85. House of Quality (HoQ) kemudian disusun menggunakan hasil rekapitulasi ini sebagai masukan utama..

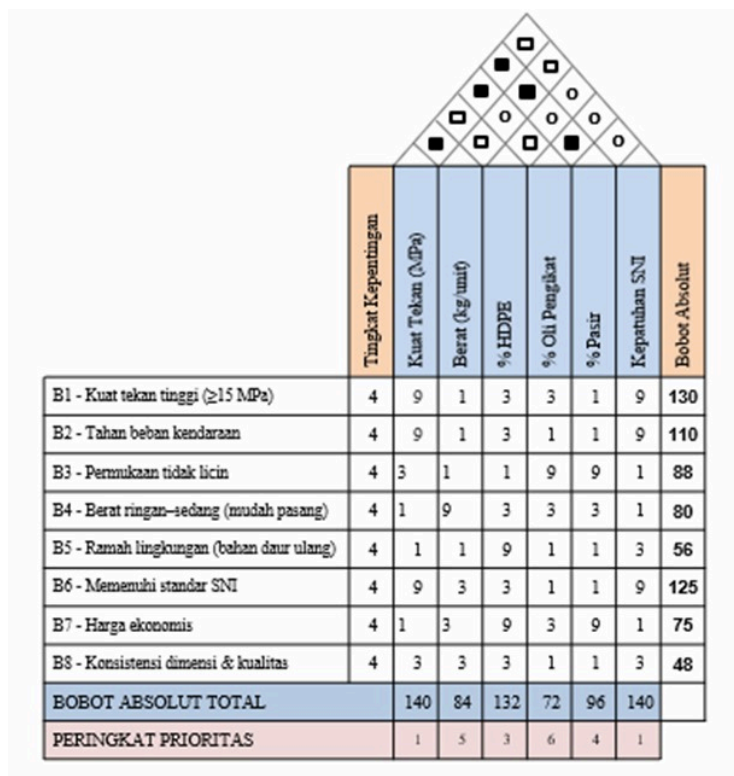
3.2 Hasil Penyusunan House of Quality (HoQ)

Matriks House of Quality (HoQ) yang menghubungkan keinginan konsumen dengan spesifikasi teknis produk dibuat menggunakan temuan kuesioner VoC. Tingkat prioritas VoC dikalikan dengan bobot hubungan (kuat = 9, sedang = 3, lemah = 1) untuk menentukan bobot absolut setiap karakteristik teknis, yang kemudian dijumlahkan di seluruh kebutuhan item. Gambar 4 menampilkan hasil matriks HoQ.

Berdasarkan hasil pada Gambar 4, kuat tekan dan kepatuhan SNI menempati peringkat prioritas tertinggi dengan bobot absolut masing-masing sebesar 140, diikuti persentase HDPE (bobot 132, peringkat #3), persentase pasir (bobot 96, peringkat #4), berat per unit (bobot 84, peringkat #5), dan persentase oli (bobot 72, peringkat #6). Tingginya bobot kuat tekan mencerminkan konsensus lintas segmen bahwa kemampuan mekanik produk merupakan aspek terpenting. Oleh karena itu, kuat tekan ditetapkan sebagai variabel dependen utama dalam tahap DOE, dengan berat per unit sebagai variabel dependen pendukung, sehingga memberikan landasan ilmiah berbasis kebutuhan pengguna atas desain eksperimen yang dilakukan.

3.3 Hasil Pengujian Berat Paving Block

Untuk mengetahui bagaimana berbagai teknik pemrosesan material memengaruhi massa akhir blok paving, dilakukan pengujian berat. Hasil pengujian berat blok paving untuk setiap perlakuan ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 4 Matriks House of Quality

Tabel 5 Hasil Pengujian Berat Paving Block

Jenis Formulasi	Benda Uji	Berat Benda Uji (kg)	Rata Rata
Formulasi 1	P1	1,16	1,15
	P2	1,20	
	P3	1,10	
Formulasi 2	P1	1,44	1,46
	P2	1,50	
	P3	1,44	
Formulasi 3	P1	1,14	1,22
	P2	1,34	
	P3	1,20	

Berdasarkan Tabel 5, terlihat bahwa variasi komposisi bahan mempengaruhi berat paving block yang dihasilkan. Formulasi dengan penambahan pasir menunjukkan berat dan tinggi formulasi pasir. Disebabkan karena pasir memiliki massa jenis yang lebih tinggi dibandingkan plastik HDPE dan oli bekas, sehingga meningkatkan massa total paving block. Formulasi 2 menghasilkan berat rata-rata tertinggi sebesar 1,46 kg, sedangkan formulasi 1 menghasilkan berat rata-rata terendah sebesar 1,15 kg.

3.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Block

Untuk mengetahui apakah paving block dapat menahan beban tekan, dilakukan pengujian kekuatan tekan. Tabel 6 menampilkan hasil pengujian kekuatan tekan untuk setiap perlakuan.

Tabel 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Jenis Formulasi	Benda Uji	Uji Tekan (kN)	Uji Tekan (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Standar SNI 03-0691-1996
Formulasi 1	P1	133	18,27	17,68	B
	P2	111	15,24		
	P3	142	19,51		
Formulasi 2	P1	58	7,97	8,8	D
	P2	74	10,16		
	P3	61	8,38		
Formulasi 3	P1	96	13,19	13,05	C
	P2	94	12,91		
	P3	95	13,05		

Variasi komposisi material berdampak pada nilai kekuatan tekan blok paving, menurut hasil uji pada Tabel 6. Formulasi 2 menghasilkan kekuatan tekan terendah sebesar 8,8 MPa, sedangkan Formulasi 1 menghasilkan kekuatan tekan maksimum sebesar 17,68 MPa. Formulasi 1, yang memiliki kekuatan tekan rata-rata 17,68 MPa, termasuk dalam kategori kualitas B dan sesuai untuk digunakan di area parkir menurut standar SNI 03-0691-1996. Formulasi 3 termasuk dalam kategori kualitas C dan sesuai untuk jalur pejalan kaki dengan kekuatan tekan 13,05 MPa.



Gambar 5 Produk Akhir Paving Block

3.5 Analisis Statistik

3.5.1 Analisis ANOVA Berat

Tabel 7 Hasil Analisis Anova Berat Paving Block

ANOVA					
Berat Benda	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.154	2	.077	16.178	.004
Within Groups	.029	6	.005		
Total	.182	8			

Hasil ANOVA menunjukkan nilai F hitung sebesar 16,178 dengan signifikansi $p = 0,004 < 0,05$, sehingga H_0 ditolak. Artinya variasi komposisi bahan berpengaruh signifikan terhadap berat paving block. Hasil uji Duncan menunjukkan Formulasi 2 berbeda nyata dengan Formulasi 1 dan 3, dengan berat rata-rata tertinggi sebesar 1,46 kg akibat proporsi pasir yang lebih tinggi.

3.5.2 Analisis ANOVA Kuat Tekan

Tabel 8 Hasil Analisis Anova Kuat Tekan Paving Block

ANOVA					
Uji Tekan	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	117.214	2	58.607	28.357	.001
Within Groups	12.401	6	2.067		
Total	129.615	8			

Dengan nilai F terhitung sebesar 28,357 dan tingkat signifikansi $p = 0,001 < 0,05$, temuan ANOVA menunjukkan bahwa H_0 ditolak. Ini menunjukkan bahwa kekuatan tekan batu paving sangat dipengaruhi oleh perubahan komposisi material. Karena homogenitas matriks HDPE dan minyak yang lebih baik tanpa penambahan pasir, Formulasi 1 memiliki kekuatan tekan tertinggi sebesar 17,68 MPa, yang berbeda secara signifikan dari Formulasi 2 dan 3, menurut temuan uji Duncan.

3.6 Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa meskipun penambahan pasir meningkatkan berat blok paving, hal itu tidak selalu meningkatkan kekuatannya. Matriks HDPE dan minyak terikat lebih seragam pada Formulasi 1 tanpa pasir, menghasilkan kekuatan tekan terbesar sebesar 17,68 MPa. Di sisi lain, penambahan pasir pada Formulasi 2 dan 3 mengurangi kekuatan tekan dengan mengganggu homogenitas matriks. Hal ini konsisten dengan penelitian oleh [13], yang menemukan bahwa kekuatan tekan campuran blok paving berbasis plastik cenderung menurun seiring dengan peningkatan jumlah agregat.

Menurut SNI 03-0691-1996, Formulasi 1 dikategorikan sebagai kelas B (kekuatan tekan ≥ 15 MPa), yang secara teknis sesuai untuk area parkir dan memenuhi persyaratan Departemen Pekerjaan Umum dan segmen kontraktor, yang memiliki skor kepentingan VoC tertinggi (rata-rata 4,25 – 4,75). Formulasi 2 dikategorikan sebagai kelas D (kekuatan tekan $\geq 8,5$ MPa), sesuai untuk area taman dan aplikasi non-struktural ringan, sedangkan Formulasi 3 dikategorikan sebagai kelas C (kekuatan tekan $\geq 12,5$ MPa), sesuai untuk jalur pejalan kaki dan pengelolaan taman. Temuan ini menunjukkan bahwa limbah HDPE memiliki potensi sebagai bahan pengganti blok paving untuk aplikasi non-struktural, meskipun belum mencapai kelas A. Penggunaan HDPE dari sudut pandang ekonomi dan lingkungan.

3.7 Validasi Integrasi DOE-QFD

Tahap akhir dari pendekatan integrasi DOE-QFD adalah memvalidasi apakah hasil eksperimen yang diperoleh selaras dengan kebutuhan pelanggan yang telah diidentifikasi melalui HoQ. Hasil validasi disajikan pada Tabel 9.

Berdasarkan Tabel 9, ketiga formulasi yang diuji secara konsisten memenuhi kebutuhan segmen pelanggan yang berbeda. Formulasi P1 dengan kuat tekan 17,68 MPa (Mutu B) selaras dengan kebutuhan segmen kontraktor dan Dinas PU yang memiliki skor kepentingan tertinggi (rata-rata 4,25–4,75), sekaligus memenuhi kebutuhan area parkir yang mensyaratkan kuat ≥ 15 MPa. Formulasi P3 dengan kuat tekan 13,05 MPa (Mutu C) sesuai untuk kebutuhan pengelola taman yang memerlukan kuat tekan minimal $\geq 12,5$ MPa. (Mutu D), meskipun memiliki kuat tekan terendah, tetap memenuhi kebutuhan minimal untuk pengguna umum dan aplikasi non-struktural ringan yang mensyaratkan kuat tekan $\geq 8,5$ MPa.

Keselarasan antara hasil DOE dan kebutuhan VoC ini merupakan kontribusi utama dari pendekatan integrasi yang digunakan dalam penelitian ini. Tanpa tahap QFD, hasil penelitian hanya akan menghasilkan rekomendasi teknis berupa formulasi terbaik, tanpa kejelasan segmen pengguna yang paling relevan. Dengan adanya HoQ, setiap formulasi kini memiliki konteks aplikasi yang jelas dan tervalidasi secara sistematis, sehingga memudahkan pengambilan keputusan dalam implementasi di lapangan.

4. Kesimpulan

Pertama, hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan komposisi material pada blok paving yang terbuat dari limbah plastik HDPE memiliki dampak signifikan terhadap berat dan kekuatan tekan, dengan nilai signifikansi berat sebesar 0,004 dan nilai signifikansi kekuatan tekan sebesar 0,001, yang keduanya kurang dari $\alpha = 0,05$.

Tabel 9 Validasi Kesesuaian Hasil DOE dengan Kebutuhan VoC

Formulasi	Kuat Tekan (Mpa)	Mutu SNI	Segmen VoC yang Terpenuhi	Keterangan
P1 (50% HDPE + 50% Oli)	17,68 MPa	Mutu B	Kontraktor dan Dinas PU (★★★★★), sekaligus memenuhi syarat area parkir (kuat tekan ≥ 15 MPa)	Optimal — prioritas VoC tertinggi
P3 (50% HDPE + 20% Oli + 30% Pasir)	13,05 MPa	Mutu C	Pengelola Taman (★★★★☆)	Sesuai — kebutuhan VoC tinggi
P2 (50% HDPE + 30% Oli + 20% Pasir)	8,80 MPa	Mutu D	Pengguna Umum (★★★★☆)	Memenuhi — kebutuhan VoC sedang

Kedua, penambahan pasir dalam campuran terbukti meningkatkan berat paving block, namun tidak selalu meningkatkan kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh menurunnya homogenitas matriks pengikat ketika proporsi pasir diperbesar, sehingga distribusi tegangan menjadi tidak merata.

Ketiga, Formulasi 1, yang memiliki kekuatan tekan rata-rata 17,68 MPa dan komposisi 50% HDPE dan 50% oli bekas, merupakan formulasi terbaik. Nilai ini sesuai untuk digunakan di tempat parkir dan termasuk dalam kategori kualitas B menurut SNI 03-0691-1996. Formulasi 2 dan 3 memiliki kekuatan tekan masing-masing 8,8 MPa dan 13,05 MPa, sehingga menempatkannya dalam kelompok kualitas D dan C.

Keempat, penggunaan limbah plastik HDPE sebagai bahan paving block telah menunjukkan potensi sebagai pengganti ramah lingkungan untuk penggunaan non-struktural, dan juga membantu mengurangi jumlah sampah plastik di lingkungan, terutama di Medan.

Untuk meningkatkan kekuatan tekan paving block hingga mencapai kategori kualitas A (≥ 35 MPa) sesuai dengan SNI 03-0691-1996, disarankan agar penelitian selanjutnya menyelidiki modifikasi pada suhu leleh, ukuran partikel pasir, dan berbagai jenis pengikat..

Kelima, integrasi pendekatan QFD ke dalam alur penelitian DOE memberikan nilai tambah berupa validasi kesesuaian produk terhadap kebutuhan pengguna nyata. Melalui House of Quality, kuat tekan dan kepatuhan SNI ditetapkan sebagai parameter prioritas tertinggi dengan bobot absolut masing-masing sebesar 140. Kuat tekan dipilih sebagai variabel dependen utama karena dapat dikontrol langsung melalui variasi komposisi bahan, dan terbukti selaras dengan hasil DOE di mana Formulasi P1 menghasilkan kuat tekan tertinggi (17,68 MPa) yang paling relevan untuk segmen pengguna dengan kepentingan tertinggi, yaitu kontraktor dan Dinas PU.

References

- [1] Alaydrus, S. U. Q., Wicaksono, K. A., Rabihati, E., & Hafiyyan, Q. (2026). Utilization of HDPE (high density polyethylene) plastic waste as a substitute for some cement in the compressive strength of paving blocks. *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 5(4), 83–88. <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v5i4.300>
- [2] Ariansyah. (2020). *Studi pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan utama pembuatan paving block*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- [3] Awodiji, C., Sule, S., & Oguguo, C. (2022). Comparative study on the strength properties of paving blocks produced from municipal plastic waste. *Nigerian Journal of Technology*, 40(5), 762–770. <https://doi.org/10.4314/njt.v40i5.1>
- [4] Dian W. Kurniawidi, Teguh Ardianto, Syamsuddin, Siti Alaa', Amrul Ikhsan, & Susi Rahayu. (2021). Pemilahan sampah plastik untuk mendukung program zero waste pada pusat daur ulang sampah Bajang Peripih Doro, Pringgarata, Lombok Tengah tahun 2021. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(4), 402–409.
- [5] Dieningrum, A. N. A., Muslihudin, M., & Suyanto, E. (2020). Proses pengelolaan sampah plastik menjadi paving block di Desa Jetis, Kecamatan Kemangkon, Kabupaten Purbalingga. *Jurnal READ (Research of Empowerment and Development)*, 1(2), 66–74.
- [6] Hasaya, H., & Masrida, R. (2021). Potensi pemanfaatan ulang sampah plastik menjadi eco-paving block. *Jurnal Jaring SainTek*, 3(1), 25–31.
- [7] Kader, M. A., Herlina, E., & Setianingsih, W. (2021). Pengelolaan sampah plastik menjadi paving block sebagai prospek bisnis pada masyarakat pra sejahtera. *Abdimas Galuh*, 3(1), 102–110.

- [8] Krasna, W. A., Noor, R., & Ramadani, D. D. (2019). Utilization of plastic waste polyethylene terephthalate (PET) as a coarse aggregate alternative in paving block. *MATEC Web of Conferences*, 280, 04007.
- [9] Kuddus, M. (2019). *Uji pembuatan paving block menggunakan campuran limbah plastik jenis PET (Poly Ethylene Terephthalate) pada skala laboratorium*. Universitas Hasanuddin.
- [10] Luthfianto, S. (2020). Inovasi limbah sampah plastik dan kulit kopi menjadi paving block di Desa Penakir Kecamatan Pulosari Kabupaten Pemalang. *Dinamisia: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 176–185.
- [11] Nnorom, O. O., Onuegbu, G. C., & Nwanonenyi, S. C. (2024). Physico-mechanical properties of sand-plastic interlocking paving brick. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 37(3), 1–18.
- [12] Purwaningrum, P. (2022). Upaya mengurangi timbulan sampah plastik di lingkungan. *JTL: Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(2), 141–147.
- [13] Saikia, N., & de Brito, J. (2023). Utilization of plastic waste as replacement of natural aggregates in sustainable concrete: Effects on mechanical and durability properties. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 1–25.
- [14] Strukar, K., Sipos, T. K., Milicevic, I., & Busic, R. (2023). Compressive mechanical and durability properties of concrete with polyethylene terephthalate and high-density polyethylene aggregates. *Sustainable Materials and Technologies*, 35, e00573.
- [15] Adeoti, G. O., et al. (2025). Improvement of mechanical properties of plastic sand paving stones using PET fibers. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 73(1), 255–265.
- [16] Akao, Y. (2017). *Integrating Customer Requirements into Product Design*. Routledge.
- [17] Cohen, L. (1995). *Quality Function Deployment: How to make QFD work for you*. Addison-Wesley.
- [18] Nnorom, O. O., Onuegbu, G. C., & Nwanonenyi, S. C. (2024). Physico-mechanical properties of sand-plastic interlocking paving brick. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 37(3), 1–18.