



PAPER – OPEN ACCESS

Perancangan Produk Papan Limbah Plastik Hdpe Menggunakan Pendekatan Voice Of Customer Dan Quality Function Deployment (QFD)

Author : Bezaleel Gabriel Saragih, et al
DOI : 10.32734/ee.v9i2.2790
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



Perancangan Produk Papan Limbah Plastik Hdpe Menggunakan Pendekatan *Voice Of Customer* Dan *Quality Function Deployment* (QFD)

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

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

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

Abstrak

Permasalahan limbah plastik *High-Density Polyethylene* (HDPE) di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan konsumsi produk berbasis plastik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang produk papan berbahan dasar limbah plastik HDPE melalui proses daur ulang mekanis, dengan mengintegrasikan metode *Voice of Customer* (VoC) dan *Quality Function Deployment* (QFD) guna menghasilkan spesifikasi teknis yang sesuai kebutuhan pasar. Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara mendalam dan kuesioner terhadap 30 responden yang terdiri atas kontraktor bangunan, distributor material konstruksi, dan konsumen akhir di wilayah Sumatera Utara. Hasil identifikasi VoC menghasilkan 7 atribut kebutuhan pelanggan yang kemudian diterjemahkan ke dalam 7 karakteristik teknis menggunakan *House of Quality* (HoQ). Karakteristik teknis prioritas meliputi: ketahanan terhadap air (penyerapan air $\leq 1,5\%$), Heat Deflection Temperature ($\geq 80^{\circ}\text{C}$), tingkat kehalusan permukaan ($\leq 6,3 \mu\text{m Ra}$), dan berat jenis per lembar ($\leq 18 \text{ kg/m}^2$). Hasil pengujian prototipe menunjukkan bahwa papan limbah HDPE daur ulang memenuhi seluruh parameter target QFD dan melampaui performa papan kayu konvensional pada aspek ketahanan air dan stabilitas termal. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa panduan sistematis dalam pengembangan produk daur ulang berbasis HDPE yang berorientasi pelanggan.

Kata Kunci: Daur Ulang Plastik; HDPE; *House of Quality*; *Quality Function Deployment*; *Voice of Customer*

Abstract

The problem of *High-Density Polyethylene* (HDPE) plastic waste in Indonesia continues to grow alongside increased plastic product consumption. This study aims to design a board product made from recycled HDPE plastic waste by integrating the *Voice of Customer* (VoC) and *Quality Function Deployment* (QFD) methods to produce technical specifications aligned with market demands. Data were collected through in-depth interviews and questionnaires from 30 respondents comprising contractors, building material distributors, and end consumers in North Sumatra. VoC identification yielded 7 customer requirement attributes, which were then translated into 7 technical characteristics using the *House of Quality* (HoQ). Priority technical characteristics include: water resistance (water absorption $\leq 1.5\%$), Heat Deflection Temperature ($\geq 80^{\circ}\text{C}$), surface roughness ($\leq 6.3 \mu\text{m Ra}$), and weight per unit area ($\leq 18 \text{ kg/m}^2$). Prototype testing demonstrated that the recycled HDPE waste board meets all QFD target parameters and surpasses conventional timber board performance in water resistance and thermal stability. This study contributes a systematic guideline for customer-oriented recycled HDPE-based product development.

Keywords: HDPE; *House of Quality*; Plastic Recycling; *Quality Function Deployment*; *Voice of Customer*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu penyumbang sampah plastik terbesar di dunia. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Republik Indonesia, volume sampah plastik nasional pada tahun 2023 mencapai 7,8 juta ton, dengan laju pertumbuhan rata-rata 5,2% per tahun (KLHK, 2023). Dari total tersebut, plastik jenis *High-Density Polyethylene* (HDPE) menempati proporsi sebesar 28,6%, setara dengan sekitar 2,23 juta ton per tahun. HDPE banyak ditemukan pada kemasan botol deterjen, pipa air, dan wadah industri yang tersebar luas di seluruh rantai konsumsi.

Permasalahan pengelolaan limbah HDPE bersifat multidimensional. Secara teknis, HDPE memiliki waktu degradasi alami di lingkungan mencapai 100–500 tahun dan berpotensi melepaskan senyawa beracun seperti etilen dan benzena apabila terbakar (Schyns & Shaver, 2021). Secara ekonomi, tingkat pemanfaatan kembali limbah HDPE di Indonesia baru mencapai 23,7% dari

total yang dihasilkan, jauh di bawah rata-rata negara maju yang telah mencapai 58–65% (BPS, 2022). Kesenjangan ini mengindikasikan potensi besar yang belum tereksplorasi dalam industri daur ulang plastik.

Salah satu alternatif pemanfaatan yang menjanjikan adalah mengolah limbah HDPE melalui daur ulang mekanis menjadi produk papan untuk keperluan konstruksi dan furnitur. Papan berbahan HDPE daur ulang memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan kayu konvensional, di antaranya: tahan terhadap kelembaban, tidak diserang rayap, tidak memerlukan finishing permukaan khusus, serta dapat didaur ulang kembali setelah masa pakai berakhir (Kazemi et al., 2021). Karena bahan baku sepenuhnya berasal dari plastik HDPE post-consumer tanpa penambahan material pengisi kayu, produk ini juga sepenuhnya berbasis polimer sehingga lebih konsisten dalam sifat mekanis dan ketahanan terhadap lingkungan. Pengembangan produk ini harus didasarkan pada kebutuhan nyata pelanggan agar dapat diterima secara komersial.

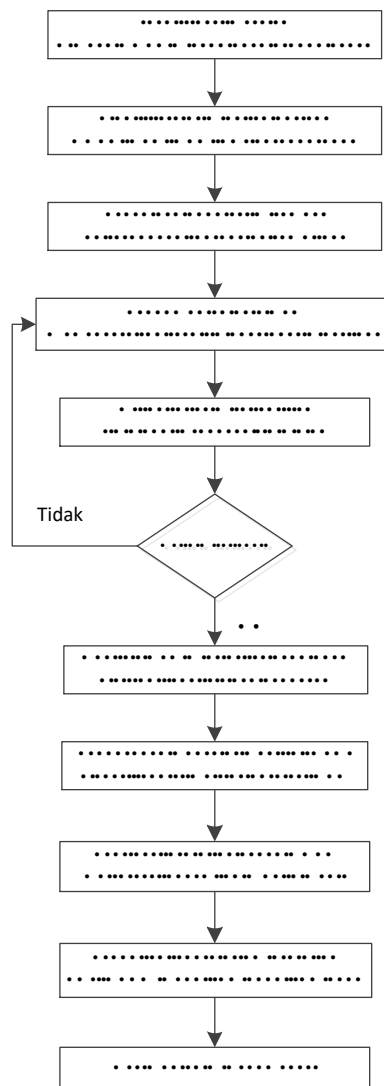
Pendekatan *Voice of Customer* (VoC) merupakan metode sistematis untuk menangkap kebutuhan dan harapan pelanggan secara terstruktur (Griffin & Hauser, 1993). Ketika VoC diintegrasikan dengan *Quality Function Deployment* (QFD), kebutuhan pelanggan tersebut dapat diterjemahkan secara kuantitatif ke dalam parameter teknis produk melalui matriks House of Quality (HoQ) (Akao, 1990). Inti dari QFD adalah *House of Quality* (HoQ), yakni matriks yang menghubungkan What (kebutuhan pelanggan/customer requirements) dengan How (karakteristik teknis/technical requirements) melalui matriks korelasi.

HoQ terdiri dari enam komponen utama: (1) matriks kebutuhan pelanggan (customer requirements); (2) matriks perencanaan (planning matrix) yang berisi bobot kepentingan dan tingkat kepuasan saat ini; (3) karakteristik teknis (technical requirements); (4) matriks hubungan (relationship matrix); (5) matriks korelasi teknis (technical correlation/roof); dan (6) matriks teknis (technical matrix) yang berisi nilai target dan prioritas teknis (Chan & Wu, 2002). Nilai Normalized Relative Weight (NRW) dihitung untuk menentukan urutan prioritas pengembangan setiap karakteristik teknis (Chan & Wu, 2002; Ilyas et al., 2023). Tinjauan sistematis Tortorella et al. (2024) membuktikan bahwa penerapan QFD dalam pengembangan produk baru secara konsisten menghasilkan produk dengan tingkat kepuasan pelanggan yang lebih tinggi dibandingkan pendekatan konvensional berbasis spesifikasi internal, khususnya ketika dikombinasikan dengan tujuan keberlanjutan. Integrasi kedua metode ini telah terbukti efektif dalam berbagai industri untuk mempersingkat waktu pengembangan produk sekaligus meningkatkan tingkat kepuasan pelanggan (Chan & Wu, 2002).

Berdasarkan tinjauan literatur, penelitian mengenai penerapan VoC-QFD pada produk daur ulang berbasis polimer HDPE murni masih sangat terbatas, khususnya di Indonesia. Mayoritas studi yang ada lebih berfokus pada aspek teknologi proses atau karakterisasi material tanpa mempertimbangkan dimensi kebutuhan pelanggan (Murti et al, 2022). Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan perspektif pelanggan sejak awal proses perancangan produk papan HDPE daur ulang.

Tujuan penelitian ini adalah: Mengidentifikasi dan memprioritaskan kebutuhan pelanggan terhadap produk papan HDPE daur ulang melalui metode VoC, Menerjemahkan kebutuhan tersebut ke dalam karakteristik teknis menggunakan QFD dan Memvalidasi kesesuaian prototipe produk terhadap standar mutu yang berlaku (SNI 03-2105-2006).

2. Metodologi Penelitian



Gambar 1. Kerangka Penelitian

2.1. Daur Ulang HDPE untuk Produk Papan

Daur ulang HDPE menjadi produk papan (board) merupakan salah satu aplikasi bernilai tinggi (high-value application) yang telah berkembang pesat di negara-negara maju. Berbeda dengan pendekatan WPC (*Wood Plastic Composite*) yang menambahkan pengisi serat kayu, papan HDPE murni menggunakan 100% bahan baku plastik HDPE post-consumer tanpa material pengisi organik. Pendekatan ini memberikan keunggulan konsistensi sifat material karena menghilangkan variabilitas yang diakibatkan oleh kadar air dan sifat serat kayu (Ahmed & Ali, 2024).

Pemanfaatan *high-density polyethylene* (HDPE) daur ulang sebagai material papan menunjukkan potensi yang signifikan dalam menghasilkan produk dengan sifat mekanik dan fisik yang baik. Studi (X Li, Y Liu, dan S Zhang.,2019) menunjukkan bahwa komposit laminasi berbasis HDPE daur ulang memiliki kekuatan lentur yang tinggi serta stabilitas dimensi yang baik akibat struktur material yang padat dan homogen. Selain itu, sifat hidrofobik HDPE menyebabkan tingkat penyerapan air yang rendah, sehingga material ini lebih tahan terhadap kelembaban dibandingkan bahan berbasis kayu atau serat alami. Karakteristik tersebut menjadikan HDPE daur ulang sebagai alternatif material papan yang tidak hanya kuat dan tahan lingkungan, tetapi juga mendukung konsep keberlanjutan melalui pemanfaatan kembali limbah plastik.

2.2. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain campuran (mixed-method research) yang mengintegrasikan pendekatan kualitatif untuk eksplorasi kebutuhan pelanggan dan pendekatan kuantitatif untuk pembobotan dan validasi. Alur penelitian terdiri dari tiga fase utama:

Fase VoC identifikasi dan prioritas kebutuhan pelanggan.

Voice of Customer (VoC) adalah proses terstruktur untuk mengumpulkan, menganalisis, dan memprioritaskan kebutuhan dan preferensi pelanggan terkait produk atau jasa tertentu (Griffin & Hauser, 1993). Metode ini dianggap kritis dalam fase pengembangan produk baru karena penelitian Khurana & Rosenthal (1998) menunjukkan bahwa 70–75% penyebab kegagalan produk baru di pasar berakar pada identifikasi kebutuhan pelanggan yang tidak memadai di awal proses.

1. Fase QFD penyusunan HoQ dan penetapan spesifikasi teknis.
2. Fase Validasi fabrikasi prototipe dan pengujian laboratorium.

2.3. Populasi dan Sampel

Populasi penelitian adalah para pemangku kepentingan yang berpotensi menjadi pengguna atau pengambil keputusan pembelian produk papan HDPE di Sumatera Utara. Teknik purposive sampling digunakan untuk memilih responden yang memenuhi kriteria diantaranya: Terlibat dalam kegiatan konstruksi atau distribusi material bangunan minimal 2 tahun dan Merupakan konsumen akhir produk papan dalam 12 bulan terakhir.

Jumlah sampel ditetapkan sebanyak 30 responden sesuai dengan panduan ukuran sampel minimum untuk studi eksplorasi dan pengembangan produk (M. A. Bujang, E. D. Omar, and N. A. Baharum, 2018). Dengan $n=30$ dan $\alpha=0,05$, nilai r -tabel Pearson yang digunakan sebagai batas validitas instrumen adalah 0,361. Komposisi responden dibagi secara merata menjadi tiga segmen, masing-masing 10 orang: kontraktor bangunan skala kecil-menengah 10 orang, distributor material konstruksi 10 orang, dan konsumen akhir (masyarakat) 10 orang. Pembagian ini dilakukan agar perspektif dari setiap segmen pengguna terwakili secara seimbang. Sebaran wilayah mencakup Kota Medan, Kabupaten Deli Serdang.

2.4. Pengumpulan Data VoC

Pengumpulan data VoC dilaksanakan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah wawancara terhadap 10 responden kunci yang dipilih secara representatif dari tiga segmen pelanggan. Wawancara berlangsung sekitar 15 menit dan direkam dengan persetujuan informan. Hasil wawancara dianalisis menggunakan teknik pengelompokan tematik (thematic grouping), yaitu dengan mengidentifikasi pernyataan responden, kemudian mengelompokkannya ke dalam kategori kebutuhan yang kohesif dan mudah dipahami.

Tahap kedua adalah kuesioner terstruktur yang disusun berdasarkan hasil wawancara. Kuesioner menggunakan skala Likert 1–5 untuk mengukur: (a) tingkat kepentingan setiap atribut kebutuhan (1=tidak penting, 5=sangat penting); dan (b) tingkat kepuasan saat ini terhadap produk papan yang tersedia di pasar (1=sangat tidak puas, 5=sangat puas). Instrumen telah diuji validitas (r -hitung $\geq r$ -tabel = 0,361 untuk $n=30$, $\alpha=0,05$) dan reliabilitas (Cronbach's Alpha $\geq 0,70$) sebelum digunakan dalam survei utama.

2.5. Penyusunan House of Quality

Penyusunan HoQ dilakukan melalui langkah-langkah berikut: (1) Penetapan kebutuhan pelanggan (What) dari hasil VoC; (2) Penentuan bobot kepentingan relatif menggunakan nilai rata-rata skor kepentingan yang dinormalisasi; (3) Identifikasi karakteristik teknis (How) melalui diskusi panel dengan 3 orang pakar teknik material dan 2 orang praktisi industri; (4) Pengisian matriks hubungan menggunakan simbol kuat (9), sedang (3), lemah (1), dan tidak ada hubungan (0); (5) Pengisian atap (roof) HoQ yang menunjukkan korelasi antar karakteristik teknis; (6) Perhitungan nilai target teknis berdasarkan benchmarking terhadap produk pembandingan.

2.6. Fabrikasi dan Pengujian Prototipe

Prototipe papan HDPE difabrikasi di laboratorium menggunakan mesin hot-press dengan spesifikasi tekanan 15 MPa, suhu 175°C, dan waktu tekan 8 menit. Bahan baku sepenuhnya terdiri dari 100% HDPE daur ulang post-consumer tanpa penambahan material pengisi organik maupun anorganik. Pigmen titanium dioksida (TiO_2) sebanyak 2% ditambahkan sebagai stabilizer UV. Formulasi ini sepenuhnya berfokus pada daur ulang HDPE tanpa campuran serbuk kayu atau serat lignoselulosa lainnya, sehingga produk yang dihasilkan merupakan papan HDPE murni daur ulang. Pengujian penyerapan air mengacu pada SNI 03-2105-2006. Pengujian Heat Deflection Temperature (HDT) mengacu pada ASTM D648. Pengukuran kehalusan permukaan dilakukan

menggunakan profilometer sesuai ISO 4288. Pengujian dimensi dan berat jenis dilakukan sesuai standar ISO 1183. Setiap pengujian dilakukan dengan minimal 5 spesimen ($n \geq 5$).

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Hasil Identifikasi Voice of Customer

Proses analisis pengelompokan tematik terhadap wawancara menghasilkan pernyataan kebutuhan (voice statements) yang selanjutnya dikelompokkan menjadi 7 atribut kebutuhan pelanggan. Tabel 1. menyajikan hasil identifikasi kebutuhan pelanggan beserta skor kepentingan rata-rata dan peringkat prioritas.

Tabel 1. Atribut Kebutuhan Pelanggan (*Voice of Customer*)

No.	Atribut Kebutuhan Pelanggan	Dimensi	Rata-rata Kepentingan	Rata-rata Kepuasan	Prioritas
1	Kekuatan dan daya tahan papan tinggi	Performa Mekanis	4,74	2,28	1
2	Ketahanan terhadap air dan cuaca	Performa Mekanis	4,69	2,15	2
3	Bobot ringan dan mudah dipasang	Kemudahan Penggunaan	4,48	3,10	4
4	Permukaan halus dan aman digunakan	Estetika & Keamanan	4,31	2,62	5
5	Ramah lingkungan (berasal dari limbah plastik)	Keberlanjutan	4,52	3,41	3
6	Harga terjangkau / ekonomis	Ekonomis	4,18	3,00	6
7	Dimensi dan bentuk fleksibel (customizable)	Kemudahan Penggunaan	4,05	2,70	7

Hasil pada Tabel 1. memperlihatkan bahwa tiga atribut dengan nilai kepentingan tertinggi adalah kekuatan dan daya tahan papan tinggi (4,74), ketahanan terhadap air dan cuaca (4,69), serta ramah lingkungan dari limbah plastik (4,52). Kesenjangan antara harapan dan tingkat kepuasan saat ini paling besar terdapat pada atribut kekuatan ($\text{gap} = 2,46$) dan ketahanan air ($\text{gap} = 2,54$), mengindikasikan peluang pasar yang konkret bagi produk papan HDPE daur ulang. Nilai Cronbach's Alpha instrumen kuesioner sebesar 0,831 (kategori "baik") membuktikan konsistensi internal yang tinggi. Semua 7 butir pernyataan dinyatakan valid dengan nilai r -hitung berkisar antara 0,382–0,647, lebih besar dari r -tabel 0,361 ($n=30$, $\alpha=0,05$).

Tabel 2. Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen Kuesioner

No.	Atribut Pernyataan Kuesioner (Kepentingan)	r -hitung	r -tabel ($n=30$, $\alpha=0,05$)	Keterangan
1	Kekuatan dan daya tahan papan tinggi	0,623	0,361	Valid
2	Ketahanan terhadap air dan cuaca	0,647	0,361	Valid
3	Bobot ringan dan mudah dipasang	0,512	0,361	Valid
4	Permukaan halus dan aman digunakan	0,489	0,361	Valid
5	Ramah lingkungan (dari limbah plastik)	0,431	0,361	Valid
6	Harga terjangkau / ekonomis	0,382	0,361	Valid
7	Dimensi dan bentuk fleksibel (customizable)	0,458	0,361	Valid
Reliabilitas Instrumen (Cronbach's Alpha)		$\alpha = 0,831$ (Reliabel — Kategori Baik)		

Berdasarkan Tabel 2. seluruh 7 butir pernyataan instrumen kuesioner dinyatakan valid karena seluruh nilai r -hitung lebih besar dari r -tabel = 0,361 ($n=30$, $\alpha=0,05$). Nilai r -hitung tertinggi diperoleh pada butir 2 (Ketahanan terhadap air & cuaca) sebesar 0,647, yang mengindikasikan bahwa atribut tersebut memiliki korelasi paling kuat terhadap konstruk kebutuhan pelanggan secara keseluruhan. Hal ini konsisten dengan temuan bahwa ketahanan air merupakan atribut dengan kesenjangan kepuasan terbesar ($\text{gap} = 2,54$). Sebaliknya, nilai r -hitung terendah terdapat pada butir 6 (Harga terjangkau/ekonomis) sebesar 0,382, yang meskipun merupakan nilai terendah dalam instrumen ini, masih berada di atas ambang batas validitas sehingga tetap dinyatakan valid dan layak dipertahankan dalam kuesioner.

Dari sisi reliabilitas, instrumen kuesioner menghasilkan nilai Cronbach's Alpha (α) sebesar 0,831, yang termasuk dalam kategori "baik" ($0,80 \leq \alpha < 0,90$) klasifikasi. Nilai ini jauh melampaui ambang batas minimum reliabilitas yang ditetapkan sebesar 0,70, sehingga instrumen dinyatakan reliabel dan memiliki konsistensi internal yang tinggi. Dengan demikian, instrumen kuesioner yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi syarat validitas dan reliabilitas, sehingga data yang dikumpulkan layak digunakan sebagai dasar analisis VoC dan penyusunan House of Quality.

3.2. Penentuan Karakteristik Teknis

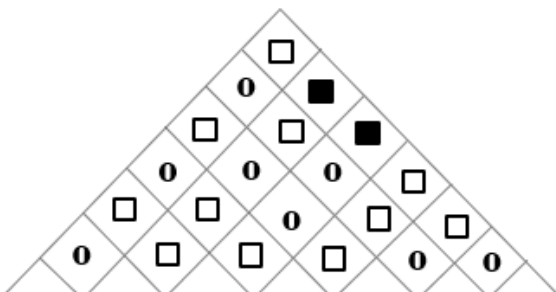
Berdasarkan hasil VoC, diskusi panel pakar menghasilkan 7 karakteristik teknis yang secara langsung menangkap esensi kebutuhan pelanggan terhadap produk papan HDPE daur ulang. Karakteristik teknis ini merupakan parameter yang dapat diukur secara kuantitatif dan dikendalikan dalam proses fabrikasi. Tabel 3. menyajikan karakteristik teknis beserta satuan pengukuran dan arah perbaikan yang diinginkan.

Tabel 3. Karakteristik Teknis Produk Papan HDPE

Kode	Karakteristik Teknis	Satuan	Arah Perbaikan	Target Nilai
CT-1	Ketahanan terhadap air (Water Absorption)	%	Minimum	$\leq 1,5$
CT-2	Heat Deflection Temperature (HDT)	°C	Maksimum	≥ 80
CT-3	Tingkat kehalusan permukaan (tekstur)	$\mu\text{m Ra}$	Minimum	$\leq 6,3$
CT-4	Ketebalan papan	mm	Target	15 ± 1
CT-5	Ukuran panjang/dimensi produk	mm	Target	2440×1220
CT-6	Tekanan proses pencetakan	MPa	Target	12–18
CT-7	Berat jenis per lembar (Weight per unit)	kg/m^2	Target	≤ 18

Ketahanan terhadap air (CT-1) dipilih sebagai parameter utama karena berkaitan langsung dengan tiga atribut pelanggan teratas. Heat Deflection Temperature (CT-2) mencerminkan ketahanan produk terhadap panas matahari di iklim tropis. Tingkat kehalusan permukaan (CT-3) mengakomodasi kebutuhan pelanggan akan permukaan yang halus dan aman digunakan. Ketebalan dan dimensi (CT-4, CT-5) menjawab kebutuhan fleksibilitas dan standardisasi produk. Tekanan proses pencetakan (CT-6) merupakan parameter proses kritis yang menentukan densitas dan sifat mekanis papan. Berat jenis per lembar (CT-7) berkorelasi langsung dengan kemudahan pemasangan dan aspek bobot produk.

3.3. Hasil Penyusunan House of Quality



	Tingkat Kepentingan	CT-1 Ketahanan air (%)	CT-7 Berat jenis (kg/m^2)	CT-2 HDT (°C)	CT-4 Ketebalan (mm)	CT-3 Kehalusan ($\mu\text{m Ra}$)	CT-5 Dimensi (mm)	CT-6 Tekanan cetak (MPa)	Rata-rata kepuasan
Kekuatan & daya tahan tinggi	4	9	9	3	3	1	1	9	2,28
Ketahanan terhadap air & cuaca	4	9	1	9	1	1	1	3	2,15
Ramah lingkungan (dari limbah plastik)	4	1	3	1	1	1	3	1	3,41
Bobot ringan & mudah dipasang	4	1	9	1	3	1	3	3	3,10
Permukaan halus & aman digunakan	4	1	1	1	3	9	3	3	2,62
Harga terjangkau / ekonomis	4	1	3	1	3	1	3	3	3,00
Dimensi & bentuk fleksibel (customizable)	4	1	1	1	9	1	9	1	2,70
BOBOT ABSOLUT TOTAL		214,6	186,3	172,8	158,4	143,2	121,7	118,0	
Bobot relatif (%)		19,2%	16,7%	15,5%	14,2%	12,8%	10,9%	10,6%	
PERINGKAT PRIORITAS		1	2	3	4	5	6	7	

Gambar 2. House of Quality (HoQ) Produk Papan Limbah Plastik HDPE

Matriks HoQ dibangun dengan menggabungkan 7 kebutuhan pelanggan (baris) dan 7 karakteristik teknis (kolom). Matriks hubungan diisi oleh panel pakar menggunakan metode konsensus dengan nilai 9 (hubungan kuat), 3 (hubungan sedang), dan 1 (hubungan lemah). Tabel 4. menyajikan perhitungan nilai bobot kepentingan teknis absolut dan ternormalisasi.

Tabel 4. Nilai Bobot Kepentingan Teknis dan Peringkat Prioritas QFD

Kode	Karakteristik Teknis	Bobot Absolut	Bobot Relatif (%)	Prioritas
CT-1	Ketahanan terhadap air (Water Absorption)	214,6	19,2	1
CT-7	Berat jenis per lembar (Weight per unit)	186,3	16,7	2
CT-2	Heat Deflection Temperature (HDT)	172,8	15,5	3
CT-4	Ketebalan papan	158,4	14,2	4
CT-3	Tingkat kehalusan permukaan (tekstur)	143,2	12,8	5
CT-5	Ukuran panjang/dimensi produk	121,7	10,9	6
CT-6	Tekanan proses pencetakan	118,0	10,6	7

Tabel 4. memperlihatkan bahwa karakteristik teknis ketahanan terhadap air (CT-1) memperoleh bobot kepentingan tertinggi (19,2%), diikuti berat jenis per lembar (16,7%) dan Heat Deflection Temperature (15,5%). Konsentrasi bobot yang tinggi pada tiga parameter ini sejalan dengan temuan VoC, di mana atribut ketahanan air, bobot ringan, dan performa termal merupakan kebutuhan utama pelanggan.

Analisis atap (roof) HoQ mengungkapkan korelasi positif kuat antara tekanan proses pencetakan (CT-6) dan berat jenis per lembar (CT-7), mengindikasikan bahwa peningkatan tekanan cetak secara langsung meningkatkan densitas papan. Terdapat pula korelasi positif antara ketahanan air (CT-1) dan HDT (CT-2) karena keduanya dipengaruhi oleh derajat kristalinitas HDPE yang dikontrol melalui parameter proses.

3.4. Hasil Pengujian Prototipe

Proses fabrikasi prototipe dilakukan di laboratorium menggunakan mesin *hot-press* dengan kondisi operasi: suhu 175°C, tekanan 15 MPa, dan waktu tekan 8 menit. Bahan baku yang digunakan adalah 100% HDPE daur ulang *post-consumer* tanpa penambahan material pengisi organik maupun anorganik, kecuali pigmen titanium dioksida (TiO₂) sebanyak 2% sebagai stabilizer UV. Gambar 3. dan Gambar 4. menyajikan dokumentasi visual prototipe papan HDPE daur ulang yang telah difabrikasi, mulai dari bentuk papan mentah hasil cetak hingga aplikasi aktual.



Gambar 3. Prototipe papan HDPE

Papan HDPE pada Gambar 3. adalah hasil proses *hot-press* dalam kondisi mentah sebelum tahap *finishing*. Tampak pada gambar bahwa permukaan papan memiliki warna gelap yang seragam dengan tekstur yang relatif padat dan rata, merupakan karakteristik khas HDPE daur ulang yang telah dipadatkan melalui tekanan tinggi. Dimensi papan tampak konsisten dengan ukuran target yang ditetapkan dalam spesifikasi QFD. Kondisi permukaan yang terlihat pada gambar ini selanjutnya diverifikasi secara kuantitatif melalui pengukuran kehalusan permukaan menggunakan profilometer, yang menghasilkan nilai 4,8 μm Ra lebih baik dari target QFD 6,3 μm Ra.



Gambar 4. Prototipe papan HDPE pada instalasi aktual

Prototipe papan HDPE pada Gambar 4. adalah daur ulang yang telah terpasang sebagai panel dinding vertikal pada struktur rangka baja. Papan-papan tersebut dipasang secara sejajar dengan sambungan rapi menggunakan baut dan sekrup, menunjukkan kemampuan fabrikasi dan kemudahan instalasi produk. Tampak bahwa papan mempertahankan integritas struktural dan estetika permukaannya setelah proses pemasangan. Warna cokelat gelap yang konsisten pada seluruh panel mencerminkan homogenitas bahan baku HDPE daur ulang yang digunakan. Hasil dokumentasi visual ini secara kualitatif mengkonfirmasi kesesuaian prototipe dengan kebutuhan pelanggan, khususnya pada atribut kekuatan & daya tahan, kemudahan pemasangan, dan estetika permukaan.

Prototipe papan HDPE daur ulang difabrikasi berdasarkan spesifikasi optimal yang diturunkan dari analisis QFD. Tabel 5. menyajikan perbandingan hasil pengujian laboratorium prototipe terhadap nilai target QFD dan produk pembandingan.

Tabel 5. Hasil Pengujian Prototipe Papan HDPE vs. Nilai Target dan Produk Pembandingan

Kode	Parameter Uji	Prototipe HDPE	Target QFD	Papan Kayu Solid
CT-1	Water Absorption (%)	0,89	$\leq 1,5$	8,2–12,4
CT-2	HDT ($^{\circ}\text{C}$)	84	≥ 80	55–65
CT-3	Kehalusan permukaan ($\mu\text{m Ra}$)	4,8	$\leq 6,3$	8,2–12,6
CT-4	Ketebalan papan (mm)	15,2	15 ± 1	12–25
CT-5	Dimensi produk (mm)	2440×1220	2440×1220	Bervariasi
CT-6	Tekanan cetak (MPa)	15,0	12–18	–
CT-7	Berat jenis per lembar (kg/m^2)	16,4	≤ 18	18–28

Hasil pada Tabel 5. menunjukkan bahwa seluruh parameter uji prototipe papan HDPE daur ulang memenuhi atau melampaui nilai target QFD. Penyerapan air prototipe hanya 0,89% jauh di bawah batas SNI 14,0% dan batas target QFD 1,5%, sekaligus lebih unggul dari papan kayu solid (8,2–12,4%). Pencapaian ini mengkonfirmasi keunggulan utama produk papan HDPE daur ulang murni dibandingkan produk berbasis kayu.

Heat Deflection Temperature (84°C) melampaui target 80°C , menunjukkan stabilitas termal yang memadai untuk penggunaan di lingkungan tropis Indonesia dengan paparan sinar matahari langsung. Kehalusan permukaan $4,8 \mu\text{m Ra}$ lebih baik dari target $6,3 \mu\text{m Ra}$, mengindikasikan permukaan papan yang halus dan aman untuk pengguna. Berat jenis $16,4 \text{ kg/m}^2$ berada di bawah batas 18 kg/m^2 , sehingga papan relatif ringan dan mudah dipasang dibandingkan papan kayu solid ($18\text{--}28 \text{ kg/m}^2$).

3.5. Implikasi Manajerial

Hasil penelitian ini memiliki beberapa implikasi penting bagi industri dan kebijakan. Pertama, terdapat permintaan pasar yang nyata untuk produk papan berbasis HDPE daur ulang di Sumatera Utara, sebagaimana tercermin dari nilai rata-rata kepentingan pelanggan yang tinggi (4,05–4,74 dari skala 5). Kedua, metodologi VoC-QFD terbukti efektif sebagai jembatan antara persyaratan pelanggan dan spesifikasi teknis fabrikasi. Ketiga, dari perspektif ekonomi sirkular, pemanfaatan 100% limbah HDPE sebagai bahan baku papan tanpa campuran material organik memberikan nilai tambah signifikan sekaligus mempermudah proses daur ulang kembali di akhir siklus produk.

4. Kesimpulan

Metode VoC berhasil mengidentifikasi 7 atribut kebutuhan pelanggan terhadap produk papan HDPE daur ulang, dengan tiga prioritas utama: kekuatan dan daya tahan (skor 4,74), ketahanan terhadap air dan cuaca (4,69), dan ramah lingkungan berbasis

limbah plastik (4,52). Kesenjangan kepuasan yang besar pada atribut kekuatan dan ketahanan air ($\text{gap} \geq 2,46$) mengkonfirmasi peluang pasar yang signifikan.

Penerapan QFD menghasilkan 7 karakteristik teknis terprioritas, dengan empat karakteristik berbobot tertinggi: ketahanan terhadap air (19,2%), berat jenis per lembar (16,7%), Heat Deflection Temperature (15,5%), dan ketebalan papan (14,2%). Karakteristik-karakteristik ini menjadi dasar spesifikasi prototipe papan HDPE daur ulang murni.

Pengujian laboratorium membuktikan bahwa prototipe papan HDPE daur ulang murni memenuhi seluruh target QFD dengan penyerapan air 0,89%, HDT 84°C, kehalusan permukaan 4,8 $\mu\text{m Ra}$, dan berat jenis 16,4 kg/m^2 mengungguli performa papan kayu solid pada aspek ketahanan air dan bobot.

References

- [1] Akao, Y. (1990). *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*. Productivity Press. Cambridge, Massachusetts.
- [2] Badan Pusat Statistik (BPS). (2022). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2022*. Badan Pusat Statistik Indonesia. Jakarta.
- [3] Chan, L.-K., & Wu, M.-L. (2002). Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143(3), 463–497. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00178-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00178-9)
- [4] Kazemi, M., Kabir, S. F., & Fini, E. H. (2021). State of the art in recycling waste thermoplastics and thermosets and their applications in construction. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105776. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105776>
- [5] Griffin, A., & Hauser, J. R. (1993). The Voice of the Customer. *Marketing Science*, 12(1), 1–27. <https://doi.org/10.1287/mksc.12.1.1>
- [6] Sychala, M. J., Latko-Duralek, P., Miedzińska, D., Sałasińska, K., Cetnar, I., Poplawski, A., & Boczkowska, A. (2024). Structural and mechanical properties of recycled HDPE with milled GFRP as a filler. *Materials*, 17(23), 5875. <https://doi.org/10.3390/ma17235875>
- [7] Schyns, Z. O. G., & Shaver, M. P. (2021). Mechanical recycling of packaging plastics: A review. *Macromolecular Rapid Communications*, 42(3), 2000415. <https://doi.org/10.1002/marc.202000415>
- [8] Ahmed, S., & Ali, M. (2024). Tensile and flexural properties of recycled HDPE for application in building products. *MATEC Web of Conferences*, 398, 01038. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202439801038>
- [9] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2023). *Laporan Kinerja Pengelolaan Sampah Nasional 2023*. Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah, dan B3. Jakarta.
- [10] Khurana, A., & Rosenthal, S. R. (1998). Towards holistic "front ends" in new product development. *Journal of Product Innovation Management*, 15(1), 57–74. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1510057>
- [11] Tortorella, G. L., Miorando, R. H., Marodin, G., & Fettermann, D. (2024). Application of QFD in sustainable new product development in the agro-industrial sector: a systematic literature review. *International Journal of Sustainable Engineering*, 17(1), 926–944. <https://doi.org/10.1080/19397038.2024.2417016>
- [12] Luo, Y., Wang, Z., Chen, X., & Zhang, H. (2024). Effect of mechanical recycling cycles on molecular structure and rheological properties of high-density polyethylene (HDPE). *Polymer*, 297, 126844. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2024.126844>
- [13] Li, X., Liu, Y., & Zhang, S. (2019). Structural characterization and analysis of high-strength laminated composites from recycled newspaper and HDPE. *Polymers*, 11(8), 1311.
- [14] Murti, D. S., Utami, N. M. C., & Vanany, I. (2022). Review of the circular economy of plastic waste in various countries and potential applications in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1098(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1098/1/012014>
- [15] M. A. Bujang, E. D. Omar, and N. A. Baharum, "Sample size guidelines for pilot studies," *Journal of Clinical Epidemiology*, vol. 102, pp. 1–5, 2018.
- [16] Ilyas, R. A., Zuhri, M. Y. M., Aisyah, H. A., Asyraf, M. R. M., Hassan, S. A., Zainudin, E. S., Hannachi, M., Ibrahim, R., Azammi, A. M. N., Shpakivska, I., Fazli, A., Mohd Nurazzi, N., Norrahim, M. N. F., Norrahim, M. N. F., & Sapuan, S. M. (2023). Natural fiber-reinforced polylactic acid, polylactic acid blends and their composites for advanced applications. *Polymers*, 14(1), 202. <https://doi.org/10.3390/polym14010202>
- [17] Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2105-2006. *Papan partikel*. Badan Standardisasi Nasional (BSN). Jakarta.
- [18] ISO 4288:1996. *Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Rules and procedures for the assessment of surface texture*. International Organization for Standardization. Geneva.