

Penerapan Metode *Value Engineering* pada Pengembangan Desain Sistem Pembuangan Terhubung (*Keyhole Mount Box*) untuk Meja Pemotong Kertas: Studi Kasus pada Usaha Fotokopi

Muhammad Fitriadi^{*1}, Agripa Moreno Keliat², Zahratul Annisa³, Muhammad Rafli⁴, Zunur Evita Saputri⁵, Elya Fitri Banjarnahor⁶, Raffi Febrian⁷, Rizqi Wahyudi⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Sumatera

^{1*}muhammad.123190003@student.itera.ac.id, ²agripa.120190155@student.itera.ac.id, ³zahratul.122190117@student.itera.ac.id,

⁴muhammad.122190174@student.itera.ac.id, ⁵zunur.123190010@student.itera.ac.id, ⁶elya.123190069@student.itera.ac.id,

⁷raffif.123190134@student.itera.ac.id, ⁸rizky.wahyudi@ti.itera.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini untuk menerapkan *Connected Waste Box* dengan pendekatan *Value Engineering* (VE) guna meningkatkan efisiensi serta ergonomi kerja operator melalui pengurangan gerak pemborosan akibat serpihan kertas yang tercecer. Latar belakang masalah dimulai dari pengamatan aktivitas pemotongan kertas yang menghasilkan serpihan kertas yang berserakan di sekitar meja kerja, sehingga operator perlu bolak-balik membersihkan area kerja dan membuang serpihan tersebut ke tempat sampah, yang menimbulkan pemborosan waktu kerja serta kelelahan. Hasil analisis fungsi menunjukkan bahwa fungsi *Collect waste* memiliki *Value Index* terendah (0,50), *be removable & washable* (0,20) dan *Attach securely* (0,25), menandakan seluruh fungsi bernilai tinggi karena berada di bawah angka 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain *Keyhole Mount Box* berpotensi memberikan peningkatan nilai produk melalui fungsi-fungsi yang efisien dan ekonomis. Analisis *Cost Worth* dan *Value Index* menunjukkan bahwa fungsi pengumpulan (*collect waste*) memiliki nilai tambah yang paling signifikan. Evaluasi alternatif desain menggunakan metode *weighted scoring* juga menunjukkan bahwa *Keyhole Mount Box* memiliki keseimbangan performa yang baik antara stabilitas, biaya implementasi, kemudahan pemasangan, dan perawatan. Rekomendasi yang didapat dari penelitian ini adalah dimensi kotak 300 × 80 × 120 mm dengan kepala pengait berdiameter 12 mm dan slot selebar 8,5 mm memberikan *clearance* sekitar 0,5 mm untuk kemudahan pemasangan tanpa menurunkan kestabilan.

Kata Kunci: *Connected Waste Box, Efficiency, Ergonomic, Value Engineering*

PENDAHULUAN

Pada era modern saat ini, teknologi berperan sangat penting dalam kelangsungan hidup manusia (Rismawati & Nuhardin, 2023). Teknologi memudahkan semua aktivitas dan kerja manusia sehingga setiap pekerjaan dapat diselesaikan dengan efisien tanpa perlu mengeluarkan tenaga yang banyak. Salah satu bidang yang paling merasakan dampaknya adalah sektor industri, yang terus berevolusi dari masa ke masa. Revolusi industri telah mengubah cara kerja manusia yang awalnya manual kini telah bertransformasi menjadi otomatisasi dan digitalisasi melalui inovasi-inovasi teknologi (Sirait, 2022). Bentuk nyata perkembangan teknologi di sektor industri yaitu pengembangan alat bantu kerja sederhana yang membantu permasalahan pada industri (Widodo et al., 2022).

Pengembangan alat bantu kerja sederhana seringkali menghadirkan dampak besar terhadap produktivitas dan kualitas lingkungan kerja, terutama untuk aktivitas yang dilakukan berulang kali sehari-hari. Salah satu alat yang banyak digunakan pada tingkat perkantoran dan usaha fotokopi adalah *paper cutter* atau pemotong kertas manual. Kegiatan pemotongan kertas sering menghasilkan potongan sisa kertas yang tercecer di sekitar meja kerja, sehingga operator perlu bolak-balik membersihkan area kerja dan membuang potongan tersebut ke tempat sampah. Kondisi ini menimbulkan pemborosan waktu kerja serta kelelahan. Lingkungan kerja harus semakin disesuaikan dengan operator agar dapat melakukan tugas kerja dengan sukses tanpa kelelahan yang berlebihan (Pratama et al., 2024).

Dengan adanya masalah berupa potongan kertas yang tidak terorganisir mengharuskan operator membersihkan ulang terus-menerus. Tidak bisa dipungkiri bahwa kegiatan membersihkan area kerja tidaklah sulit namun tetap memerlukan waktu dan tenaga yang akan terbuang. Walaupun mungkin hanya beberapa kali melakukan pembersihan waktu dan tenaga yang terbuangan bisa digolongkan menjadi *waste of motion* sebagai salah satu penyebab primer dari *waste* (Febrianty et al., 2022). Penambahan kotak penampungan terkoneksi dapat menjadi solusi dari *waste*, sehingga operator tidak perlu melakukan pembersihan area kerja berulang atau *waste of motion* (Fernandez & Faritzky, 2024).

Metodologi *Value Engineering* (VE) merupakan pendekatan yang terbukti mampu meningkatkan nilai produk melalui analisis fungsi dan biaya, serta pengembangan alternatif yang lebih efisien (Shonata et al., 2024). Sebagai contoh, implementasi VE dalam proyek infrastruktur menunjukkan bahwa pengurangan ukuran ruang dan substitusi material dapat menurunkan biaya tanpa mengorbankan kualitas. Integrasi VE dalam pengembangan produk berhasil meningkatkan

daya saing produk UKM dengan menurunkan biaya produksi dan meningkatkan nilai fungsi (Darmawan et al., 2021). Selain itu penerapan rekayasa nilai pada sektor industri, dalam proses pengembangan produk juga bertujuan untuk memenuhi kebutuhan dan kepuasan pada konsumen (Yusuf et al., 2021).

Penerapan metode *Value Engineering* terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi biaya tanpa menurunkan fungsi hasil kerja. Penelitian oleh (Asa et al., 2024) menunjukkan bahwa penerapan *Value Engineering* pada pekerjaan konstruksi basement di proyek BRI Tower Gatot Subroto mampu menghemat biaya hingga 26,7% melalui analisis fungsi dan pemilihan alternatif desain yang lebih efisien, tanpa mengorbankan kualitas hasil pekerjaan. Penelitian (Ginting et al., 2025) menunjukkan bahwa integrasi VE dengan metode *Design for Assembly* menyederhanakan struktur produk dan mempercepat waktu perakitan hingga 20%. Berdasarkan hasil-hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan prinsip VE dalam pengembangan alat pemotong kertas dengan *connected waste Box* memiliki potensi nyata untuk menciptakan produk yang lebih efisien, ergonomis, dan fungsional bagi pengguna.

METODE

Penelitian ini yang disusun dengan pendekatan kuantitatif-deskriptif, yaitu menerapkan pendekatan *Value Engineering* (VE) sebagai kerangka metodologis utama dalam pengembangan produk karena VE dikenal sebagai suatu proses terstruktur yang bertujuan untuk memaksimalkan nilai fungsi suatu produk dengan meminimalkan biaya tanpa mengorbankan kualitas atau performa (Nigjeh & Amani, 2022). Selain itu *value engineering* juga bertujuan meningkatkan efisiensi dan efektifitas dalam perancangan dengan mengurasi kesalahan pada proses perancangan. Kesalahan dapat berupa dari segi kendala waktu, kualitas informasi yang kurang memadai, dari segi kebiasaan, segi lingkungan dan biaya (Sagena et al., 2021). Tahapan standar VE terdiri dari *Information Phase*, *Function Analysis Phase*, *Creative Phase*, *Evaluation & Development Phase*, dan *Presentation Phase* digunakan secara luas dalam literatur sebagai job plan VE (Al-Gahtani, 2022). Berikut merupakan penjelasan tahap-tahap pada value engineering (Amri et al., 2021) :

1. Tahap Informasi Tahap merupakan langkah awal dalam penerapan metodologi *Value Engineering* (VE) yang bertujuan menekankan pentingnya pengumpulan data fungsi dan biaya sejak tahap awal sebagai fondasi analisis fungsi, kebutuhan, serta potensi perbaikan produk (Abdelrahman & Nassar, 2024). Pada penelitian ini menggunakan teknik wawancara untuk memahami secara mendalam persepsi pengguna terhadap fungsi utama dan fungsi pendukung dari *paper cutter*, serta mengidentifikasi kebutuhan nyata yang dapat meningkatkan nilai guna produk. Metode wawancara sebagai bagian dari *information phase* sesuai dengan pendekatan VE modern, yang menekankan pentingnya pengumpulan informasi berbasis kebutuhan pengguna (*user-based functional information*) sebelum merancang alternatif desain (Alwerfalli et al., 2021).
2. Tahap Kreatif tim pengembang bersama pemangku kepentingan melakukan sesi *brainstorming* dan ideation workshop untuk menghasilkan alternatif desain produk yang mampu meningkatkan fungsi atau mengurangi biaya secara signifikan. Sesuai dengan kerangka VE, tahap kreatif ini fokus pada “jumlah ide terbanyak” (*quantity of ideas*) tanpa langsung menilai kualitas terlebih dahulu agar potensi inovasi maksimal (Al-Gahtani, 2022). Setiap ide kemudian didokumentasikan dan dikategorikan menurut fungsi yang ditangani misalnya: pemotongan, pengelolaan limbah, pengoperasian, pemeliharaan. Dalam penelitian ini, workshop kreatif dihadiri oleh desainer, teknisi, dan pengguna akhir untuk memastikan bahwa alternatif desain tidak hanya teknis tetapi juga memenuhi kebutuhan pengguna. Hasil tahap kreatif ini akan menjadi dasar untuk tahap evaluasi dan pengembangan desain selanjutnya.
3. Tahap Analisis yaitu melakukan analisis terhadap ide-ide yang telah ada lalu mengacu pada tingkat kepentingan dan bobot atribut yang telah dilakukan. Pada tahap ini juga menganalisis urutan kelayakan dari alternatif dan matriks dalam penentuan alternatif tersebut (Alfirmansyah et al., 2022). Untuk melakukan analisis yang dapat dilakukan dengan mengumpulkan data, misal dengan kuesioner untuk memperoleh skor. Skor ini digunakan untuk mencari bobot dan performa. Perhitungan bobot didapat dari hasil pembagian dari skor setiap faktor dan total skor dari setiap faktor. Sedangkan performa didapat dari skor dikalikan dengan bobot (Nastiti et al., 2023).
4. Tahap Pengembangan, dimana tahap ini merupakan tahap lanjutan dari tahap analisis, dimana dalam tahap ini dilakukan perancangan dari aspek bahan dan aspek manufaktur ataupun aspek lainnya yang berkaitan dengan perbaikan nilai produk (Khoirifa et al., 2025).
5. Tahap Rekomendasi atau penyajian, dimana tahap ini membuat laporan hasil analisis yang berupa pendapat atau saran penyempurnaan dalam produk dan mempresentasikan hasil rancangan tersebut pada pihak pengambil keputusan (Amri et al., 2021).

Proses pengembangan produk *paper cutter* dengan *waste Box* dilakukan dengan terintegrasi, penerapan *Value Engineering* menjadi aspek penting untuk mengidentifikasi fungsi utama (pemotongan kertas, pengelolaan limbah), fungsi pendukung (ergonomi, keamanan dan kebersihan) dan mengusulkan alternatif desain yang efisien biaya dan efektif fungsi untuk produk tersebut. Pertama dilakukannya tahap informasi, pada tahap ini tim peneliti melakukan analisis masalah pada produk *paper cutter*. Proses pengumpulan data dilakukan dengan wawancara dengan pengguna produk mengenai kebutuhan secara spesifik yang diinginkan oleh *customer* itu sendiri serta menelaah fungsi dan biaya produk secara rinci, permasalahan utama yang terjadi yaitu pada proses pemotongan kertas menggunakan produk, bekas potongan sering berserakan sehingga karyawan terus membersihkan area kerja berulang kali. Kedua, tahap kreatif dimana tim peneliti

menghasilkan sebanyak mungkin ide yang nantinya menjadi solusi dalam mengatasi permasalahan secara kreatif. Produk paper cutter membutuhkan part tambahan yang menjadi tempat pembuangan hasil potongan kertas agar *work station* tidak berantakan sehingga tidak mengganggu kinerja karyawan. Pada tahap ini juga dirancang berbagai macam konsep bentuk part yang menjadi tempat pembuangan kertas bekas potongan hingga menjadi beberapa menjadi ide alternatif.

Ketiga, tahap analisis. Tim peneliti melakukan evaluasi dan menilai setiap alternatif tadi dengan mengolah data hasil penilaian dari pengumpulan data, penyusunan matriks dan perhitungan bobot serta performansi yang nantinya ditemukan solusi alternatif yang paling optimal. Keempat yaitu tahap pengembangan, pada proses ini dilakukan pengembangan desain yang menjadi solusi utama permasalahan berupa desain produk, analisis biaya, visualisasi produk dan sebagainya. Namun, pada tahap ini dilakukan dengan terbatas, dimana hasil akhir berupa rancangan desain berdasarkan data hasil dari tahap analisis tanpa tahap implementasi atau bentuk produk secara nyata karena keterbatasan sumber daya. Rancangan desain ini diharapkan menjadi pertimbangan maupun referensi pengembangan lebih lanjut dari pihak yang berkaitan di masa depan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai bagian dari pengumpulan data, tim melakukan wawancara singkat (VOC) terhadap dua responden di sebuah fotocopy shop skala kecil yang terdiri dari pemilik usaha dan satu operator harian. Wawancara bersifat semi-terstruktur dengan kombinasi pertanyaan tertutup untuk frekuensi masalah dan pertanyaan terbuka untuk menggali preferensi serta keluhan operasional. Karena jumlah responden terbatas, hasil wawancara dipakai sebagai data kualitatif indikatif yang diperkaya dengan observasi lapangan.

Kedua responden menyampaikan bahwa pembersihan serpihan kertas setelah sesi pemotongan kerap mengganggu kelancaran pekerjaan, meskipun intensitas gangguan berbeda-beda tergantung antrean. Mereka menjelaskan bahwa pembersihan kadang memaksa jeda kerja singkat yang terasa menghambat produktivitas, terutama saat ada pelanggan menunggu. Salah satu responden menuturkan, “Kadang harus berhenti sebentar untuk ngambil sapu atau bersihin meja, bikin antrean sedikit tersendat.” Temuan ini menguatkan kebutuhan solusi pengumpulan limbah yang praktis.

Terkait lokasi pemasangan, seorang responden lebih memilih kotak terpasang di sisi meja agar mudah dijangkau, sementara responden lain tidak keberatan jika kotak ditempatkan di bawah meja asalkan tidak mengganggu ruang gerak. Preferensi sisi meja didasari oleh kebiasaan mengambil barang di pinggir meja dan kemudahan akses saat membersihkan. Masukan ini penting untuk mempertimbangkan desain pengait yang fleksibel dan orientasi bukaan kotak agar tidak menghalangi alur kerja.

Satu dari dua responden menyatakan bersedia membayar sedikit lebih mahal untuk solusi yang nyata menghemat waktu dan mempermudah perawatan, sedangkan yang lain meminta bukti manfaat sebelum mempertimbangkan biaya tambahan. Kesiapan membayar ini bersifat kondisional dan bergantung pada bukti fungsionalitas yang dapat ditunjukkan melalui demonstrasi atau uji coba. Oleh karena itu uji prototipe sederhana atau demonstrasi langsung akan sangat membantu untuk menguji respons pasar lokal.

Dari dua wawancara tersebut dapat disimpulkan kebutuhan utama adalah solusi yang praktis, mudah diakses, dan tidak mengganggu area pemotongan; desain ideal harus memudahkan pemasangan/pelepasan serta pembersihan tanpa alat khusus. Namun karena sampel kecil, temuan ini bersifat indikatif dan perlu didukung observasi operasional berulang untuk memperkuat generalisasi. Sebagai mitigasi, rekomendasi untuk laporan adalah mencantumkan keterbatasan sampel dan melengkapi data dengan observasi kuantitatif, misalnya, melalui beberapa sesi pengamatan atau wawancara tambahan jika memungkinkan.

Function Table & FAST Diagram

Analisis fungsi dilakukan untuk mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan menilai hubungan antara biaya serta manfaat dari setiap fungsi utama dan tambahan pada modul hasil pengembangan, yaitu kotak pembuangan terhubung (*Keyhole Mount Box*). Analisis ini menggunakan pendekatan *Function Analysis System Technique (FAST)* dan tabel fungsi (*Function Table*) untuk membantu memahami bagaimana modul memberikan nilai tambah terhadap alat pemotong kertas tanpa mengubah fungsi utamanya. Melalui pendekatan ini, fungsi produk dapat didefinisikan secara sistematis menggunakan format *verb + noun*, yang selanjutnya dinilai berdasarkan kontribusinya terhadap biaya (*cost*) dan manfaat yang diperoleh (*worth*).

Function Table pada penelitian ini difokuskan pada level modul kotak pembuangan, bukan alat pemotong secara keseluruhan. Fungsi utama yang diidentifikasi adalah *Collect waste*, yaitu mengumpulkan serpihan kertas hasil pemotongan agar area kerja tetap bersih. Fungsi tambahan meliputi *Attach securely* (mengait dengan kuat pada meja), *Be removable & washable* (mudah dilepas dan dibersihkan), *Be durable* (tahan terhadap penggunaan berulang), dan *Be manufacturable* (mudah dibuat dengan biaya rendah). Selain itu, satu *design requirement* juga ditetapkan, yaitu *Not interfere with cutting*, yang berarti modul tidak boleh mengganggu jalur pergerakan pisau maupun proses pemotongan. Requirement ini penting untuk memastikan integrasi mekanik modul terhadap alat utama tetap aman dan efisien.

Tabel 1. *Function Table*

No	Fungsi	Cost (Rp)	Worth (Rp)	Value Index (C/W)
1	<i>Collect waste</i>	25.000	60.000	0,42
2	<i>Attach securely</i>	10.000	20.000	0,50
3	<i>Be removable & washable</i>	8.000	15.000	0,53
4	<i>Be durable</i>	5.000	10.000	0,50
5	<i>Be manufacturable</i>	2.000	5.000	0,40
6	<i>Not interfere with cutting (Requirement)</i>	-	-	-

Dari hasil perhitungan pada *Function Table*, diperoleh nilai *Value Index (C/W)* yang seluruhnya berada di bawah 1,0, menandakan bahwa setiap fungsi memiliki manfaat yang lebih besar dibandingkan biayanya. Fungsi dengan *Value Index* paling rendah (*Collect waste* = 0,42) menunjukkan area dengan nilai tambah paling signifikan, karena peningkatan kebersihan dan efisiensi kerja dapat dicapai dengan biaya modifikasi yang relatif kecil. Sementara fungsi dengan nilai mendekati 0,5 seperti *Attach securely* dan *Be removable & washable* menunjukkan rasio nilai moderat yang masih efisien, tetapi perlu perhatian pada kualitas sambungan dan kemudahan bongkar-pasang. Requirement *Not interfere with cutting* memastikan bahwa semua solusi desain tetap mempertahankan kinerja utama alat, sehingga integrasi modul tidak menimbulkan gangguan atau risiko tambahan bagi operator.

Untuk mendukung analisis fungsi tersebut, disusun pula diagram FAST yang menggambarkan hubungan *WHY-HOW* antar fungsi pada modul. Diagram ini digunakan untuk menelusuri logika bagaimana suatu fungsi dilakukan (*HOW*) dan mengapa fungsi tersebut diperlukan (*WHY*). Dalam konteks penelitian ini, fungsi utama *Manage workspace cleanliness* dijawab melalui serangkaian fungsi teknis seperti *Collect waste*, *Provide connected waste Box*, dan *Direct cuttings via slot into Box*. Cabang fungsi pendukung seperti *Be maintainable* (mudah dirawat) dan *Be manufacturable* (mudah dibuat) menunjukkan kontribusi terhadap efisiensi perawatan dan biaya produksi.

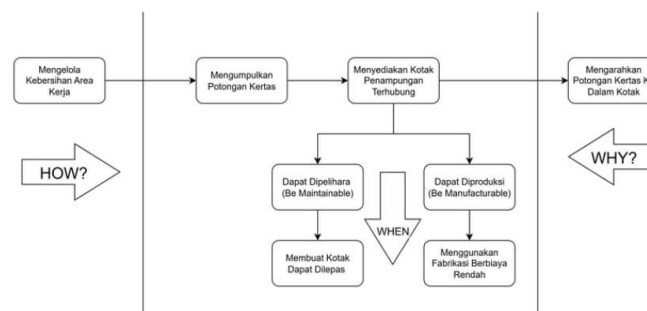
Gambar 1. *FAST Diagram*

Diagram FAST di atas menunjukkan bahwa seluruh fungsi teknis berkontribusi langsung terhadap tujuan utama yaitu menjaga kebersihan area kerja. Hubungan antar fungsi memperlihatkan keterkaitan logis antara fungsi utama dan fungsi pendukung, serta batasan desain yang memastikan sistem tetap mudah dirawat dan diproduksi secara ekonomis. Diagram ini juga menjadi dasar dalam penentuan prioritas desain pada tahap berikutnya, khususnya dalam proses seleksi alternatif yang dinilai menggunakan metode pembobotan. Dengan demikian, integrasi antara *Function Table* dan *FAST Diagram* tidak hanya membantu mengevaluasi efisiensi biaya terhadap manfaat, tetapi juga memandu tim untuk menghasilkan desain yang fungsional, praktis, dan bernilai tinggi tanpa mengubah kinerja dasar alat pemotong kertas.

Tabel Cost & Worth

Analisis *Cost-Worth* merupakan tahap penting dalam *Value Engineering* yang bertujuan untuk menilai keseimbangan antara biaya fungsi (*cost*) dengan nilai manfaat (*worth*) yang dihasilkan. Pada penelitian ini, analisis dilakukan secara konseptual, karena rancangan modul *Keyhole Mount Box* masih berada pada tahap ide dan belum melalui proses implementasi serta uji fungsional di lapangan. Oleh karena itu, nilai-nilai yang digunakan bersifat estimatif, diperoleh dari perbandingan rasional antar fungsi berdasarkan tingkat kontribusinya terhadap tujuan utama produk, yaitu meningkatkan kebersihan area kerja dan efisiensi waktu operator.

Perhitungan biaya (*cost*) dilakukan dengan pendekatan sederhana yang mempertimbangkan komponen material, proses fabrikasi, serta perakitan. Biaya material diperkirakan menggunakan bahan plastik ABS atau polimer sejenis yang mudah dibentuk dengan harga terjangkau, dengan tambahan komponen logam ringan pada bagian pengait. Berdasarkan referensi harga pasar lokal, total biaya material diperkirakan sebesar Rp12.000. Proses fabrikasi dan finishing sederhana seperti pemotongan, perakitan, serta perapihan permukaan ditaksir sebesar Rp8.000. Biaya tambahan untuk perakitan dan pemasangan sebesar Rp3.000, ditambah overhead dan biaya tidak langsung sebesar Rp2.000. Dengan demikian, total estimasi biaya pembuatan satu unit modul *Keyhole Mount Box* adalah sekitar Rp25.000.

Berbeda dengan perhitungan biaya, nilai *Worth* ditentukan secara relatif menggunakan pendekatan *conceptual worth scaling*. Nilai ini tidak dinyatakan dalam bentuk hasil pengukuran empiris (misalnya penghematan waktu aktual), melainkan melalui pemberian bobot relatif (skala 1–5) berdasarkan tingkat kontribusi masing-masing fungsi terhadap peningkatan nilai produk. Pendekatan ini lazim digunakan pada tahap awal desain (*conceptual design phase*) ketika data lapangan belum tersedia, namun perbandingan fungsi tetap diperlukan untuk menentukan prioritas pengembangan. Fungsi dengan kontribusi paling besar terhadap tujuan utama diberikan bobot tertinggi, sedangkan fungsi dengan pengaruh terbatas diberikan bobot lebih rendah.

Tabel 2. Analisis *Cost-Worth*

No	Fungsi	Cost (Rp)	Relative Worth (Skala 1-5)	Normalized Worth	Value Index
1	<i>Collect waste</i>	25.000	5	50.000	0,50
2	<i>Attach securely</i>	10.000	4	40.000	0,25
3	<i>Be removable & washable</i>	8.000	4	40.000	0,20
4	<i>Be durable</i>	5.000	3	30.000	0,17
5	<i>Be manufacturable</i>	2.000	2	20.000	0,10
6	<i>Not interfere with cutting (Requirement)</i>	-	-	-	-

Nilai pada tabel di atas menunjukkan bahwa seluruh fungsi memiliki *Value Index* (C/W) $< 1,0$, yang menandakan bahwa setiap fungsi menghasilkan manfaat yang lebih besar dibandingkan dengan biayanya. Fungsi utama *Collect waste* memiliki rasio tertinggi dari sisi *worth*, karena secara langsung mendukung tujuan utama yaitu menjaga kebersihan area kerja dan mengurangi waktu yang dihabiskan untuk membersihkan serpihan kertas. Meskipun perhitungannya bersifat estimatif, rasio 0,50 tetap menunjukkan bahwa fungsi ini sangat layak dikembangkan karena memberikan nilai fungsional yang besar dengan biaya produksi yang masih tergolong rendah.

Fungsi *Attach securely* dan *Be removable & washable* juga menunjukkan rasio efisiensi yang baik dengan nilai *Value Index* berturut-turut 0,25 dan 0,20. Hal ini menandakan bahwa kedua fungsi tersebut memiliki manfaat yang signifikan terhadap kemudahan penggunaan dan perawatan alat tanpa menambah biaya produksi secara berlebihan. Sementara fungsi *Be durable* dan *Be manufacturable* memperkuat keandalan dan keekonomisan produk jangka panjang dengan rasio efisien di bawah 0,20. Secara keseluruhan, kombinasi fungsi-fungsi tersebut mendukung konsep desain yang berorientasi pada nilai tinggi dan biaya rendah, yang menjadi prinsip utama *Value Engineering*.

Selain itu, persyaratan desain (*design requirement*) “Not interfere with cutting” tetap dipertahankan sebagai batasan teknis penting untuk memastikan bahwa modul tidak mengganggu fungsi utama alat pemotong. Persyaratan ini bukan bagian dari fungsi bernilai ekonomi, namun berfungsi sebagai constraint untuk menjamin keamanan dan kompatibilitas desain. Dalam konteks analisis VE, hal ini memastikan bahwa peningkatan nilai tidak dicapai dengan mengorbankan kualitas dasar alat, melainkan dengan menambahkan fungsi baru yang komplementer dan aman digunakan.

Hasil analisis konseptual menunjukkan bahwa modul *Keyhole Mount Box* berpotensi memberikan peningkatan nilai produk melalui fungsi-fungsi yang efisien dan ekonomis, namun temuan ini masih bersifat indikatif dan perlu divalidasi lebih lanjut melalui tahap evaluasi alternatif desain. Walaupun belum diuji secara empiris, pendekatan estimatif ini sudah mampu memberikan dasar rasional bagi tahap desain selanjutnya, khususnya dalam menentukan prioritas pengembangan dan spesifikasi teknis yang perlu diuji pada fase prototipe. Dengan demikian, analisis *Cost-Worth* pada tahap ide tetap memiliki nilai strategis dalam mendukung pengambilan keputusan desain berbasis nilai dan biaya.

Value Index & Prioritas VE

Analisis *Value Index* (VI) dilakukan untuk melihat seberapa efisien setiap fungsi pada rancangan modul *Keyhole Mount Box* dalam memberikan manfaat dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan. Nilai VI dihitung sebagai rasio $Cost/Worth$ untuk setiap fungsi. Jika $VI < 1$, artinya fungsi tersebut memberikan manfaat lebih besar daripada biayanya, sedangkan jika $VI > 1$, berarti fungsi tersebut kurang efisien dan bisa menjadi sasaran perbaikan. Karena penelitian ini masih berada pada tahap ide, nilai VI digunakan sebagai petunjuk awal untuk menentukan fungsi mana yang paling penting untuk dikembangkan lebih lanjut.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa fungsi *Collect waste* memiliki nilai VI paling kecil, yang berarti fungsi ini memberikan nilai paling tinggi dengan biaya yang relatif rendah. Fungsi ini menjadi prioritas utama karena berperan langsung menjaga kebersihan area kerja dan membuat proses pemotongan lebih efisien tanpa menambah kompleksitas alat. Fungsi pendukung seperti *Attach securely* dan *Be removable & washable* memiliki nilai VI sedang, menandakan bahwa keduanya tetap penting untuk menjaga kenyamanan dan kemudahan perawatan alat.

Berdasarkan hasil ini, prioritas pengembangan difokuskan pada penyempurnaan desain *Collect waste* agar dapat terpasang dengan aman dan mudah dilepas tanpa mengganggu proses pemotongan. Sementara itu, fungsi pendukung akan diperbaiki dari sisi detail mekanis, seperti bentuk pengait, sistem kunci, dan bahan yang digunakan agar alat tetap kuat dan mudah diproduksi. Fungsi *Be durable* dan *Be manufacturable* juga tetap dipertahankan karena mendukung daya tahan dan kemudahan proses pembuatan alat.

Perlu ditekankan bahwa hasil analisis ini masih bersifat perkiraan dan belum berdasarkan data nyata karena rancangan belum diimplementasikan. Nilai-nilai VI yang diperoleh hanya digunakan untuk memperkirakan fungsi mana yang paling efisien dan berpotensi meningkatkan nilai alat. Oleh sebab itu, hasil ini dapat dijadikan dasar bagi penelitian selanjutnya, misalnya dengan melakukan uji prototipe atau evaluasi desain untuk memastikan manfaat yang diharapkan benar-benar tercapai di lapangan.

Evaluasi Alternatif

Tahap evaluasi alternatif dilakukan untuk menilai tiga rancangan ide pengembangan sistem pembuangan limbah potongan kertas, yaitu *Connected Drawer* (A), *Keyhole Mount Box* (B), dan *Modular Clip-on Box* (C). Proses ini menggunakan metode *weighted scoring*, di mana setiap alternatif dibandingkan berdasarkan beberapa kriteria kinerja yang ditentukan melalui hasil observasi, wawancara, dan diskusi tim. Kriteria yang digunakan meliputi stabilitas/kekokohan (30%), biaya implementasi (25%), kemudahan pemasangan atau usability (20%), kemudahan perawatan atau maintainability (15%), serta kemudahan proses manufaktur atau manufacturability (10%). Bobot total seluruh kriteria adalah 100, dan penilaian dilakukan pada skala 1–5, di mana skor 1 menunjukkan performa buruk dan 5 menunjukkan performa sangat baik.

Tabel 3. Evaluasi Alternatif Desain

Kriteria	Bobot (%)	A: <i>Drawer</i>	B: <i>Keyhole</i>	C: <i>Clip-on</i>
Stabilitas / Kekokohan	30	5	4	3
Biaya Implementasi	25	3	4	5
<i>Usability</i>	20	4	4	5
<i>Maintainability</i>	15	4	4	3
<i>Manufacturability</i>	10	3	4	4
<i>Total Weighted Score</i>	100	395	400	400

Perhitungan dilakukan dengan mengalikan skor tiap kriteria dengan bobotnya. Misalnya, pada alternatif A (*Connected Drawer*), skor stabilitas sebesar 5 dikalikan dengan bobot 30 menghasilkan nilai 150. Langkah yang sama dilakukan untuk semua kriteria, kemudian dijumlahkan menjadi total skor per alternatif. Hasil perhitungan rinci ditunjukkan berikut:

$$\text{Total A} = (5 \times 30) + \dots + (3 \times 10) = 395$$

$$\text{Total B} = (4 \times 30) + \dots + (4 \times 10) = 400$$

$$\text{Total C} = (3 \times 30) + \dots + (4 \times 10) = 400$$

Nilai maksimum teoritis diperoleh jika semua skor bernilai 5 yaitu 500. Dengan demikian, skor akhir dalam bentuk persentase dapat dihitung sebagai berikut:

$$A = \frac{395}{500} \times 100 = 79,0\%$$

$$B = \frac{400}{500} \times 100 = 80,0\%$$

$$C = \frac{400}{500} \times 100 = 80,0\%$$

Berdasarkan hasil di atas, alternatif B (*Keyhole Mount Box*) dan C (*Clip-on Box*) memperoleh nilai yang sama (400 poin atau 80%), sedikit lebih unggul dibandingkan alternatif A (*Drawer*) dengan total 395 poin atau 79%. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua alternatif tersebut memiliki keseimbangan performa yang baik antara aspek biaya, kemudahan pemasangan, dan kemudahan perawatan. Namun, secara teknis, *Keyhole Mount Box* lebih unggul dalam hal stabilitas dan kekokohan struktur pengait dibandingkan *Clip-on Box* yang berpotensi lebih mudah longgar setelah pemakaian jangka panjang.

Analisis Sensitivitas (*Sensitivity Analysis*)

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana perubahan asumsi biaya (*Cost*) dan manfaat (*Worth*) dapat memengaruhi nilai fungsi (*Value Index*) dan hasil evaluasi alternatif desain. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa keputusan yang diambil tetap stabil terhadap fluktuasi kecil dalam estimasi biaya material maupun persepsi manfaat pengguna. Dengan cara ini, tim dapat menilai ketahanan (*robustness*) dari rancangan yang diusulkan sebelum melangkah ke tahap pengembangan lebih lanjut.

Sebagai contoh, pada fungsi utama *Collect waste*, estimasi biaya pembuatan komponen kotak pembuangan adalah Rp25.000, sedangkan manfaat yang diasosiasikan dalam dua tahun pemakaian diperkirakan senilai Rp4.500.000. Nilai fungsi dasar dihitung menggunakan rumus $VI = \frac{Cost}{Worth}$, sehingga diperoleh:

$$VI = \frac{25.000}{4.500.000} = 0,0056$$

Nilai ini menunjukkan bahwa biaya fungsi relatif sangat kecil dibandingkan manfaat yang diperoleh, sehingga fungsi tersebut tergolong bernilai tinggi. Untuk melihat sensitivitas terhadap asumsi pesimistis, dilakukan skenario pertama di mana nilai manfaat (*Worth*) turun sebesar 20%. Perhitungannya sebagai berikut:

$$Worth_{baru} = 4.500.000 \times 0,80 = 3.600.000$$

Dengan penurunan nilai manfaat sebesar 20%, maka terjadi perubahan rasio antara biaya dan manfaat yang memengaruhi efisiensi fungsi. Nilai fungsi yang baru dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$VI_{baru} = \frac{25.000}{3.600.000} = 0,0069$$

Artinya, penurunan manfaat sebesar 20% menyebabkan *Value Index* meningkat (lebih buruk) dari 0,0056 menjadi 0,0069. Meski peningkatan relatif kecil, hal ini menandakan bahwa perubahan persepsi manfaat dapat mempengaruhi efisiensi nilai produk secara signifikan. Skenario kedua dilakukan untuk menguji dampak kenaikan biaya pembuatan sebesar 20%. Dengan demikian, nilai biaya baru dihitung sebagai:

$$Cost_{baru} = 25.000 \times 1,20 = 30.000$$

Kenaikan biaya ini menyebabkan rasio antara biaya dan manfaat menjadi lebih besar, yang berarti efisiensi nilai menurun. Nilai fungsi baru setelah penyesuaian dapat dihitung sebagai berikut:

$$VI_{baru} = \frac{30.000}{4.500.000} = 0,0067$$

Kenaikan biaya produksi 20% menghasilkan peningkatan VI dari 0,0056 menjadi 0,0067. Hasil ini masih menunjukkan fungsi bernilai tinggi, namun mengindikasikan bahwa efisiensi desain sedikit menurun jika material atau biaya pembuatan meningkat.

Untuk memberikan gambaran kondisi paling pesimistis (*worst-case scenario*), dilakukan simulasi gabungan di mana biaya pembuatan meningkat sebesar 20% dan nilai manfaat menurun sebesar 20% secara bersamaan. Skenario ini mewakili kemungkinan terburuk apabila terjadi kenaikan harga material serta penurunan persepsi pengguna terhadap manfaat produk. Dengan menggunakan asumsi tersebut, perhitungan nilai fungsi baru ditunjukkan sebagai berikut:

$$VI_{gabungan} = \frac{30.000}{3.600.000} = 0,00833$$

Kenaikan *Value Index (VI)* dari 0,0056 pada kondisi dasar menjadi 0,00833 pada skenario kombinasi menunjukkan peningkatan sekitar 49% secara relatif terhadap nilai awal. Artinya, meskipun efisiensi fungsi menurun akibat perubahan asumsi biaya dan manfaat secara bersamaan, nilai fungsi masih berada jauh di bawah 1, yang berarti fungsi *Collect waste* tetap tergolong bernilai tinggi dan efisien secara ekonomis.

Tabel 4. *Sensitivity Analysis*

Skenario	Cost (Rp)	Worth (Rp)	VI
<i>Base case</i>	25.000	4.500.000	0,0056
<i>Worth -20%</i>	25.000	3.600.000	0,0069
<i>Cost +20%</i>	30.000	4.500.000	0,0067
<i>Cost +20% % Worth -20%</i>	30.000	3.600.000	0,0083

Hasil analisis ini memperlihatkan bahwa meskipun perubahan pada biaya maupun manfaat memengaruhi nilai fungsional produk, pergeseran nilainya tidak sampai mengubah keputusan utama. Fungsi *Collect waste* masih memberikan rasio manfaat-biaya yang sangat menguntungkan bahkan pada kondisi terburuk (*worst-case scenario*). Namun demikian, peningkatan VI yang cukup signifikan pada skenario pesimistis mengindikasikan bahwa nilai produk cukup sensitif terhadap persepsi manfaat pengguna dan estimasi biaya produksi.

Spesifikasi Desain Terpilih & *Bill of Materials* (BOM)

Desain akhir yang dipilih adalah *Keyhole Mount Box*, yaitu kotak pembuangan yang dipasang secara langsung pada sisi meja pemotong kertas melalui mekanisme lubang kunci (*keyhole slot*). Mekanisme ini memungkinkan kotak dipasang dan dilepas dengan cepat tanpa alat bantu, sehingga memudahkan proses perawatan harian. Desain ini dipilih karena memiliki stabilitas yang baik, proses pembuatan yang sederhana, biaya produksi yang rendah, serta kemudahan penggunaan di lingkungan fotokopi skala kecil–menengah. Tidak adanya chute membuat alurnya lebih sederhana, sehingga operator hanya perlu mendorong serpihan kertas ke arah kotak yang terpasang di samping meja. Berikut merupakan desain prototipe dari produk *Keyhole Mount Box*.



Gambar 2. Desain Prototipe

Gambar 2 di atas menampilkan kotak pembuangan yang dirancang berukuran 300 mm × 100 mm × 160 mm (panjang, lebar, tinggi). Material utama menggunakan ABS yang ringan, kuat, dan tahan benturan. Mekanisme pengait menggunakan *tab* dengan kepala berdiameter 12 mm dan batang selebar 8 mm sepanjang 25 mm, sementara slot pada meja dibuat sebagai lubang kunci dengan diameter awal 13 mm dan celah 9 mm sepanjang 40 mm. Toleransi pemasangan sebesar 0,3–0,5 mm ditetapkan untuk menjamin kotak stabil namun tetap mudah dilepas-pasang. Pada bagian belakang kotak ditambahkan *lip handle* kecil sebagai pegangan saat menarik kotak dari mekanisme penguncian.

Tabel 5. Spesifikasi Teknis Desain *Keyhole Mount Box*

Komponen	Spesifikasi Teknis	Keterangan Tambahan
Dimensi Kotak	300 mm × 100 mm × 160 mm	Volume ±3,5 liter
Material Bodi	ABS (<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>)	Ringan, tahan benturan
<i>Tab</i> Pengait	Kepala Ø12 mm, batang 8 mm × 25 mm	Terintegrasi dengan kotak
Slot Meja	Ø13 mm lubang awal, celah 9 mm × 40 mm	Clearance ±0.5 mm
<i>Finishing</i>	Fillet 1–2 mm di seluruh tepi	Mengurangi tepian yang tajam (<i>user-safe</i>)
Sistem Kunci	Mekanisme geser + <i>click detent</i>	Menjaga stabilitas posisi

Setelah spesifikasi teknis disusun, tahap berikutnya adalah menghitung estimasi biaya produksi per unit menggunakan pendekatan BoM. Estimasi ini mencakup seluruh komponen utama dan penunjang, termasuk biaya material, proses pembuatan, dan faktor toleransi produksi. Data dalam tabel berikut disusun berdasarkan harga pasar material plastik dan jasa manufaktur. Perhitungan ini menjadi acuan utama untuk analisis *Cost–Worth* dan *Value Index* yang dilakukan pada tahap sebelumnya.

Tabel 6. *Bill of Materials* dan Estimasi Biaya Produksi

No	Komponen	Spesifikasi Singkat	Estimasi Harga (Rp)	Keterangan
1	Kotak pembuangan (ABS)	<i>Vacuum forming / 3D print</i>	15.000	Termasuk <i>tab</i> pengait
2	Rel kecil / pemandu	Plastik cetak	3.000	Menstabilkan arah pemasangan
3	<i>Handle lip (integrated)</i>	ABS, satu cetakan	1.000	Untuk menarik saat melepas kotak
4	<i>Fastener / mounting kecil</i>	Sekrup plastik kecil	2.000	Kebutuhan <i>reinforcement</i>
Total Estimasi Biaya Produksi per Unit			21.000	

Untuk memperjelas pembagian komponen biaya yang telah dijabarkan pada *Tabel 2*, dilakukan visualisasi dalam bentuk grafik proporsi biaya produksi per komponen. Visualisasi ini bertujuan menunjukkan kontribusi relatif masing-masing bagian terhadap total biaya pembuatan satu unit *Keyhole Mount Box*. Dengan cara ini, pembaca dapat memahami dengan lebih mudah komponen mana yang paling dominan dalam struktur biaya, serta bagaimana efisiensi desain dapat diupayakan melalui optimasi material dan proses manufaktur.

$$\text{Total Cost} = 15.000 + 3.000 + 1.000 + 2.000 = 21.000$$

Untuk mengantisipasi toleransi produksi dan *waste material*, perhitungan biaya tambahan ditambahkan sebesar 15% sebagai berikut:

$$21.000 \times 1,15 = 24.150 \approx 24.000\text{--}25.000$$

Dengan demikian, estimasi total produksi satu unit *Keyhole Mount Box* adalah Rp25.000. Biaya ini sudah termasuk perakitan sederhana, tanpa mencakup margin penjualan atau ongkos kirim. Berdasarkan hasil estimasi dan perbandingan dengan alternatif desain lain (*Connected Drawer* dan *Modular Clip-on Box*), desain *Keyhole Mount Box* menunjukkan nilai terbaik antara stabilitas, biaya rendah, dan kemudahan pemeliharaan. Dari hasil diskusi dengan calon pengguna, komponen ini dinilai paling praktis karena dapat dilepas untuk dibersihkan tanpa mengganggu aktivitas pemotongan.

Dampak Operasional & Perhitungan Manfaat (ROI dan *Payback Period*)

Analisis manfaat dilakukan untuk memperkirakan keuntungan operasional yang diperoleh dari penerapan desain *Keyhole Mount Box* pada meja pemotong kertas. Tujuan utamanya adalah untuk mengetahui seberapa cepat biaya pembuatan alat dapat kembali melalui efisiensi waktu kerja yang dihasilkan. Analisis ini menggunakan pendekatan sederhana berbasis *Return on Investment (ROI)* dan *Payback Period* dengan asumsi realistis yang diambil dari observasi lapangan di salah satu usaha fotokopi skala kecil di area kampus. Pendekatan ini umum digunakan dalam studi rekayasa nilai karena mampu menunjukkan nilai ekonomi tanpa memerlukan data finansial yang kompleks.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa operator fotokopi biasanya membutuhkan waktu sekitar 6,5 menit untuk membersihkan serpihan kertas setelah proses pemotongan. Setelah penambahan *Keyhole Mount Box*, waktu tersebut turun menjadi rata-rata 2,0 menit, sehingga terjadi penghematan sekitar 4,5 menit per sesi. Dengan nilai waktu kerja sebesar Rp333,33 per menit (berdasarkan upah Rp20.000 per jam), maka penghematan biaya per sesi dapat dihitung sebagai berikut:

$$4,5 \text{ menit} \times \text{Rp}333,33 = \text{Rp}1.499,98 \approx \text{Rp}1.500$$

Apabila dalam satu hari terdapat 5 sesi pemotongan, maka total penghematan per hari menjadi:

$$5 \times \text{Rp}1.500 = \text{Rp}7.500$$

Kemudian, dalam setahun dengan 300 hari kerja, nilai penghematan mencapai:

$$300 \times \text{Rp}7.500 = \text{Rp}2.250.000$$

Dengan biaya pembuatan satu unit *Keyhole Mount Box* sebesar Rp25.000, maka periode pengembalian modal dapat dihitung sebagai:

$$\text{Payback Period} = \frac{25.000}{7.500} = 3,33 \text{ hari}$$

Artinya, biaya investasi pembuatan alat dapat kembali hanya dalam waktu sekitar 3 hari operasi, yang tergolong sangat cepat untuk skala alat sederhana.

Tabel 7. Ringkasan Perhitungan Dampak Operasional dan ROI

Komponen	Nilai	Keterangan
Penghematan waktu per sesi	4,5 menit	Dari 6,5 → 2,0 menit
Nilai waktu per menit	Rp333,33	Berdasarkan Rp20.000 per jam
Penghematan per sesi	Rp1.500	$4,5 \times \text{Rp}333,33$
Sesi per hari	5	Rata-rata penggunaan
Penghematan per hari	Rp7.500	$5 \times \text{Rp}1.500$
Penghematan per tahun	Rp2.250.000	$300 \times \text{Rp}7.500$
Biaya investasi	Rp25.000	Biaya pembuatan unit
Payback Period	3,3 hari	$25.000 \div 7.500$
ROI Tahunan (sederhana)	8.900%	$((2.250.000 - 25.000)/25.000) \times 100\%$

Perhitungan ROI dilakukan dengan membandingkan keuntungan bersih tahunan terhadap biaya investasi awal:

$$ROI = \frac{(2.250.000 - 25.000)}{25.000} \times 100\% = 8.900\%$$

Nilai ROI yang sangat tinggi ini tidak berarti alat menghasilkan keuntungan finansial sebesar itu secara langsung, melainkan menunjukkan *indikasi efisiensi nilai* yang sangat besar dibandingkan biaya pembuatannya. Dengan kata lain, biaya investasi kecil mampu memberikan dampak produktivitas yang berlipat dalam konteks waktu kerja.

Analisis sederhana ini juga menegaskan bahwa investasi pada fitur kecil seperti *Keyhole Mount Box* dapat memberi efek signifikan pada efisiensi operasional, terutama di sektor jasa yang melibatkan aktivitas berulang. Meskipun hasil perhitungan ini masih bersifat asuntif, nilai ROI dan periode pengembalian modal yang cepat memperlihatkan potensi ekonomis yang kuat. Untuk penelitian lanjutan, diperlukan verifikasi langsung melalui uji lapangan dan pencatatan waktu aktual dari beberapa operator agar hasilnya dapat dijadikan dasar kelayakan produksi massal.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa desain *Keyhole Mount Box* yang dipasang pada sisi meja melalui mekanisme *keyhole slot* merupakan solusi paling efisien untuk meningkatkan kerapian serta kenyamanan kerja pada aktivitas pemotongan kertas. Spesifikasi desain yang meliputi dimensi kotak $300 \times 100 \times 160$ mm, tab pengait berdiameter 12 mm dengan celah slot 9 mm dan *clearance* sekitar 0,5 mm, serta penggunaan material ABS untuk bodi kotak terbukti memberikan keseimbangan optimal antara stabilitas, kemudahan pemasangan, dan kemudahan perawatan.

Hasil evaluasi konseptual melalui weighted scoring menempatkan *Keyhole Mount Box* sebagai alternatif terbaik dengan skor tertinggi dibanding dua desain lainnya. Selain itu, analisis fungsi menunjukkan bahwa fungsi utama *Collect waste* memiliki Value Index yang rendah, menandakan bahwa manfaat yang diberikan jauh melampaui biaya pembuatannya. Secara keseluruhan, rancangan ini dinilai layak untuk dikembangkan lebih lanjut ke tahap prototipe dan pengujian pengguna, karena menawarkan solusi yang sederhana, ekonomis, dan fungsional tanpa mengganggu mekanisme pemotong kertas yang sudah ada.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini. Penghargaan yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada institusi dan pihak terkait yang telah memberikan izin, fasilitas, serta kesempatan untuk melaksanakan penelitian. Penulis juga berterima kasih kepada para dosen pembimbing, responden, serta rekan-rekan yang turut membantu dalam proses pengumpulan data, analisis, dan penyusunan naskah. Segala bentuk dukungan, kontribusi, dan kerja sama yang diberikan sangat berarti bagi terselesaikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abdelrahman, S. A., & Nassar, A. H. (2024). Integrating Theory and Practice in Value Engineering within Egypt ' s Construction Industry. *Journal of Engineering and Applied Science*, 71(188), 1–26. <https://doi.org/10.1186/s44147->

024-00526-3

- Al-Gahtani, K. S. A. (2022). Review Current Value Engineering Studies Towards Improve Automation within Building Information Management (BIM). *International Journal of Civil Engineering*, 9(2), 1–9.
- Alfirmansyah, A., Hidayat, K., & Fakhry, M. (2022). Product Development of Boran Rice Seasoning Using the Value Engineering Method. *Prozima*, 6(1), 60–71.
- Alwerfalli, D., Czarnik, B., & Ali, A. (2021). An Overview of Value Engineering in Product Development and Design An Overview of Value Engineering in Product Development and Design. *Industrial Engineering Research Conference, December*.
- Amri, Fatimah, & Indra, K. (2021). Rancangan Kemasan Camilan Akar Kelapa pada UD. dagang Angsa Dua dengan Menggunakan Value Engineering. *Industrial Engineering Journal Vol.10*, 10(2), 1–6.
- Asa, M. F., Iskandar, S., Karim, S. B. B. A., & Berawi, M. A (2024). Cost-Saving Strategy Employing Value Engineering Analysis on Basement Construction Work. *International Journal of Technology*, 1(1), 1–17. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v0i0.0000>
- Darmawan, M. I., Kiptiah, M., Ilmannafian, A. G., & Safitri, M. (2021). Development of Cassava Chips Attributes Using Customer-Oriented. *Teknologi Industri Pertanian*, 31(1), 70–77.
- Febrianty, T. B., Hermansyah, F. A., Syafiin, I. A. S., & Fauzi, M. (2022). Identifikasi Jenis Pemborosan Yang Terjadi Pada Pt.Pqr Dengan Menggunakan Metode 8 Waste. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, 2(1), 94–101. <https://doi.org/10.46306/tgc.v2i1.28>
- Fernandez, A. C., & Al-Faritzzy, A. Z. (2024). Pengurangan Waste Pada Proses Produksi EQ Spacing Menggunakan Metode Lean Six Sigma. *Journal Of Social Science Research*, 4(3), 18772–18785.
- Ginting, R., Silalahi, R., & Marunduri, M. A. (2025). The Conceptual Integration of Quality Function Deployment and Value Engineering for Product Development: A Case Study of Water Dispenser. *International Journal of Technology*, 16(1), 124–135.
- Khoirifa, S., Prayoga, A., & Astuti, R. S. (2025). Pengembangan Produk Wedang Stamina Instan Menggunakan Metode Value Engineering. *Jurnal Pendidikan, Sosial dan Humaniora*, 4(4), 5670–5686.
- Nastiti, T. A., Nalinda, R., & Sadiyah, F. N. (2023). Product Development of Herbal Drink Seroja Milk Tea Ready to Drink Using The Value Engineering Method. *Agroscience*, 13(2), 180–191.
- Nigjeh, M. J., & Amani, N. (2022). Evaluation of influential value engineering factors on the function of interchanges : case studies in Iran. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69(48), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00100-9>
- Pratama, B. W. N., Herlianti, R., & Ikatrinasari, Z. F. (2024). Perancangan Meja Kerja Ergonomis Dengan Metode Antropometri pada Proses Inspection Checking Output Green Tire di Perusahaan X. *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, 23(2), 141. <https://doi.org/10.20961/performa.23.2.84759>
- Rismawati, & Nuhardin, I. (2023). Pengembangan dan Uji Kinerja Alat Pencacah Nilam dengan Rekayasa Nilai. *Jurnal Artificial*, 1(2), 60–69.
- Sagena, M. T., Lantara, D., Afiah, I. N., Malik, R., Industri, J. T., & Industri, F. T. (2021). Usulan Desain Kemasan Sambal Udang Menggunakan Metode Value Engineering. *e-Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri*, 208–212.
- Shonata, M., Rifai, M., & Handayani, F. S. (2024). Analisis Value Engineering Pada Proyek Pembangunan Gedung Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*, 1(3), 1–10.
- Sirait, F. E. T. (2022). Dampak Revolusi Industri 4 . 0 pada Industri Teknologi Komunikasi di Indonesia : Peluang dan Tantangan. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains dan Humaniora*, 6(1), 132–139.
- Widodo, L., Utama, D. W., & Pujianto, L. Y. (2022). Perancangan Alat Bantu Proses Penggulungan Kertas Roll pada UMKM Gracia Paper. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 10(2), 98–108.
- Yusuf, M., Parwati, C. I., & Nasution, A. R. (2021). Analisis Rekayasa Nilai Lampu Hias dalam Usaha Pengembangan Produk. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri dan Informasi*, 9(2), 159–166.