



# Optimalisasi pemanfaatan limbah filter rokok sebagai *outsole* sandal melalui teknik vulkanisasi: Studi eksplorasi material

Sekar Adita,<sup>1\*</sup> Dommy Tembriano,<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Desain Produk, Institut Seni Indonesia Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Desain Produk, Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta, Indonesia

## Abstract

*Cigarette filter waste is one of the most rapidly increasing types in many countries, including Indonesia. Composing this waste, composed of cellulose acetate, is a lengthy process that can result in considerable environmental contamination. This research aims to optimize the utilization of cigarette filter waste as an alternative material to replace sandal soles, which are typically manufactured from plastic or cellulose foam. The research encompasses the identification and collection of waste, its processing into a fine powder, the formulation development with a latex mixture, and the testing of the resulting material's strength and flexibility. The methodology employed is a material exploration study, whereby cigarette filter waste is processed by pressing techniques and combined with additional supporting materials to create a robust and flexible outsole. A series of physical and mechanical tests were conducted to assess the flexibility, strength, and water resistance of the material. The results demonstrated that the mixture of cigarette filter waste with latex adhesive yielded a sandal outsole that exhibited high strength, flexibility, water resistance, and environmental friendliness. The findings of this research indicate that the utilization of cigarette filter waste as a sandal outsole material not only mitigates environmental pollution but also provides an economical and sustainable alternative material.*

**Keywords:** *cigarette filter waste, vulcanization, sandal outsole, alternative material, recycling, environmentally friendly*

## Abstrak

Limbah filter rokok adalah salah satu jenis limbah yang paling cepat meningkat di banyak negara, termasuk Indonesia. Penguraian limbah yang terdiri dari selulosa asetat ini membutuhkan waktu yang cukup lama sehingga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan yang cukup besar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan pemanfaatan limbah filter rokok sebagai bahan alternatif pengganti sol sandal, yang biasanya dibuat dari plastik atau busa selulosa. Penelitian ini meliputi identifikasi dan pengumpulan limbah, pengolahan menjadi serbuk halus, pengembangan formulasi dengan campuran lateks, dan pengujian kekuatan dan fleksibilitas material yang dihasilkan. Metodologi yang digunakan adalah studi eksplorasi material, di mana limbah filter rokok diolah dengan teknik pengepresan dan dikombinasikan dengan material pendukung lainnya untuk menghasilkan *outsole* yang kuat dan fleksibel. Serangkaian pengujian fisik dan mekanik dilakukan untuk menilai fleksibilitas, kekuatan, dan ketahanan material terhadap air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran limbah filter rokok dengan perekat lateks menghasilkan *outsole* sandal yang memiliki kekuatan, fleksibilitas, ketahanan terhadap air, dan ramah lingkungan. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah filter rokok sebagai bahan *outsole* sandal tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga menyediakan bahan alternatif yang ekonomis dan berkelanjutan.

**Kata kunci:** limbah filter rokok, vulkanisasi, *outsole* sandal, material alternatif, daur ulang, ramah lingkungan

## 1. Pendahuluan

Limbah filter rokok yang terbuat dari asetat selulosa merupakan salah satu jenis limbah plastik yang paling umum ditemukan di lingkungan perkotaan. Menurut (Novotny & Slaughter, 2014),

rokok menyebabkan sekitar 6 juta kematian global setiap tahunnya dan berkontribusi pada penumpukan limbah filter rokok yang sulit terurai. Dengan lebih dari 60 juta perokok aktif di Indonesia (Huang et al., 2024), limbah filter rokok menjadi masalah lingkungan yang signifikan. Asetat selulosa, bahan

\* Corresponding author e-mail : [sekaradita@isi.ac.id](mailto:sekaradita@isi.ac.id)

utama dalam filter rokok, memiliki sifat plastik yang sulit terurai secara alami dan berpotensi mencemari tanah dan perairan (Zhang et al., 2020). Pemanfaatan limbah filter rokok sebagai material alternatif, seperti dalam pembuatan *outsole* sandal, merupakan solusi inovatif yang menjanjikan (Maciel et al., 2020). Desain produk yang berkelanjutan memerlukan pemanfaatan bahan daur ulang untuk mengurangi dampak lingkungan (Lyu et al., 2021). Dengan mengubah limbah filter rokok menjadi material yang berguna, kita tidak hanya mengurangi limbah tetapi juga menciptakan produk yang bermanfaat dan ramah lingkungan.

Beberapa penelitian telah menunjukkan berbagai cara untuk memanfaatkan limbah filter rokok. Misalnya, filter rokok telah digunakan dalam pembuatan bahan bangunan ramah lingkungan seperti genteng keramik (Yu et al., 2018). Selain itu, filter rokok telah diubah menjadi struktur karbon pori-pori hierarkis untuk aplikasi adsorpsi (Liu et al., 2015). Penelitian juga menunjukkan bahwa filter rokok dapat dijadikan sebagai membran selulosa asetat yang ramah lingkungan untuk penghilangan kontaminan organik (Poppendieck et al., 2016). Dengan demikian, pemanfaatan kembali limbah filter rokok sebagai bahan baku untuk produk-produk baru yang ramah lingkungan dapat menjadi langkah penting dalam mengatasi masalah lingkungan yang diakibatkan oleh limbah plastik dari rokok.

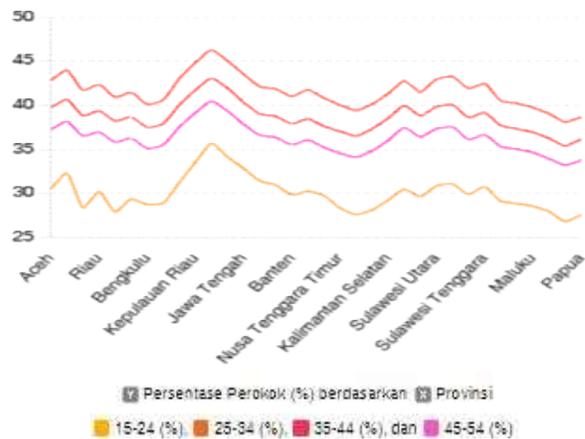
Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), persentase penduduk usia 15 tahun ke atas yang merokok dalam sebulan terakhir menurut provinsi dan kelompok umur pada tahun 2023 menunjukkan angka yang signifikan. Data ini memberikan gambaran mengenai potensi jumlah limbah filter rokok yang dihasilkan di Indonesia. Analisis data ini menunjukkan bahwa tingkat merokok yang tinggi di berbagai provinsi mencerminkan jumlah limbah filter rokok yang signifikan.



Gambar 1. Filter Rokok  
(Sumber: www.kompasiana.com)

Analisis data pada Gambar 2 menunjukkan bahwa tingkat merokok yang tinggi di berbagai provinsi mencerminkan jumlah limbah filter rokok yang signifikan. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah filter rokok sebagai material alternatif untuk *outsole* sandal adalah upaya yang sangat relevan dan penting untuk dilakukan. *Outsole* adalah bagian dasar bawah sepatu atau sandal, biasanya memiliki tekstur seperti *waffle* dan bergerigi, berguna untuk keseimbangan dan penahan licin.

Saat ini, studi mengenai pemanfaatan limbah filter rokok masih dalam tahap awal. Sebagian besar penelitian yang ada berfokus pada aplikasi dalam bahan bangunan atau komposit. Penelitian yang dilakukan oleh Sánchez dkk membuktikan bahwa limbah filter rokok dapat digunakan sebagai agregat dalam campuran beton, meningkatkan kekuatan tekan beton (Sánchez et al., 2019). Di India, telah dilakukan eksplorasi potensi limbah filter rokok dalam produk fesyen, namun belum ada studi yang membahas aplikasi langsungnya dalam pembuatan sandal. Demikian pula di Eropa, pemanfaatan limbah filter rokok dalam pembuatan material komposit sudah dilakukan, tetapi aplikasi langsungnya pada alas kaki masih terbatas. Hal ini menunjukkan potensi daur ulang limbah filter rokok, khususnya plastik, dalam industri fesyen yang relevan untuk penelitian ini.



Gambar 2. Grafik persentase perokok berdasarkan kelompok umur dan provinsi  
(Sumber: Data diolah dari BPS, 2023)



Gambar 3. *Outsole* Sandal  
(Sumber: www.orthoticshop.com)

Dasar teori untuk penelitian ini mencakup konsep-konsep dalam teknik material dan daur ulang. Vulkanisir adalah proses yang mengubah bahan plastik menjadi material yang lebih tahan lama dan fleksibel melalui reaksi kimia dengan sulfur (Jana & Das, 2005). Proses ini relevan untuk pemanfaatan limbah filter rokok yang memiliki sifat dasar plastik. Teori daur ulang plastik menunjukkan bahwa limbah ini dapat diubah menjadi produk yang berguna melalui proses yang sesuai. menjelaskan bahwa pemrosesan dan pencampuran limbah plastik dengan bahan lain dapat meningkatkan sifat mekanik material, menjadikannya cocok untuk aplikasi komersial. Penelitian yang dilakukan oleh Duan dkk juga menekankan pentingnya teknologi daur ulang dalam mengubah limbah plastik menjadi produk bernilai guna (Duan et al., 2020).

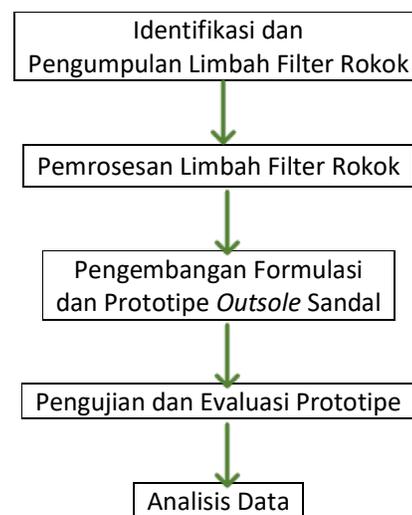
Hipotesis dari penelitian ini adalah bahwa limbah filter rokok dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama dalam pembuatan *outsole* sandal melalui teknik vulkanisir. Dalam hipotesis ini, limbah filter rokok akan dicampur dengan bahan pendukung seperti lateks dan diproses menggunakan teknik vulkanisir untuk menghasilkan material yang kuat, tahan lama, dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menyediakan solusi inovatif untuk mengatasi masalah limbah filter rokok dengan memanfaatkan limbah tersebut sebagai bahan baku untuk *outsole* sandal. Dengan menerapkan teknik vulkanisir, diharapkan dapat dihasilkan produk yang kuat, tahan lama, dan ramah lingkungan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengurangan limbah, pengembangan produk berkelanjutan, serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya daur ulang dan penggunaan material ramah lingkungan dalam industri alas kaki.

## 2. Metode

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pemanfaatan limbah filter rokok sebagai bahan alternatif pembuatan *outsole* sandal. Metode yang digunakan terdiri dari beberapa tahapan utama yang terintegrasi. Setiap tahapan dirancang untuk memastikan bahwa limbah filter rokok dapat diolah dan dimanfaatkan secara optimal, sehingga menghasilkan produk akhir yang memenuhi standar kualitas dan keberlanjutan. Gambar 4 memperlihatkan 5 tahapan sistematis dalam penelitian ini, yaitu (1) identifikasi dan pengumpulan limbah filter rokok; (2) pemrosesan limbah filter rokok; (3) pengembangan formulasi dan prototipe *outsole* sandal; (4) pengujian dan evaluasi prototipe; (5) dan analisis data.

Tahap pertama adalah identifikasi dan pengumpulan limbah filter rokok dari berbagai lokasi, termasuk daerah perkotaan dan komersial, untuk memastikan keterwakilan sampel. Pengumpulan dilakukan secara sistematis untuk mendapatkan volume sampah yang cukup untuk dianalisis dan diproses lebih lanjut. Novotny dan Slaughter menekankan pentingnya meminimalkan kontaminasi dari sumber lain selama pengumpulan untuk memudahkan pemrosesan limbah tembakau (Novotny & Slaughter, 2014). Oleh karena itu, pengumpulan melibatkan pemilihan filter rokok yang belum tercampur dengan bahan lain, yang akan menyederhanakan proses pengolahan dan meningkatkan efektivitas daur ulang.

Tahap selanjutnya adalah pemrosesan limbah filter rokok. Setelah pengumpulan sampah filter rokok, langkah selanjutnya adalah memproses bahan tersebut. Proses ini dimulai dengan tahap pembersihan untuk menghilangkan kotoran atau kontaminan yang ada (Kadir & Sarani, 2015). Limbah dicuci dengan air dan bahan pembersih yang sesuai untuk memurnikannya. Selanjutnya, limbah yang telah dibersihkan dikeringkan dan digiling menjadi bubuk halus. Langkah penting ini memastikan limbah filter rokok dapat digabungkan secara merata dengan komponen lain dalam formulasi akhir. Pemrosesan limbah plastik yang tepat sangat penting untuk menghasilkan bahan yang sesuai untuk aplikasi industri. Proses penggilingan juga bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan limbah, yang dapat membantu dalam tahap pencampuran dan pemrosesan selanjutnya (Sevostyanov et al., 2018)



Gambar 4. Bagan proses penelitian

Tahap ketiga adalah pengembangan formulasi dan prototipe *outsole* sandal. Pada tahap ini, serbuk limbah filter rokok akan dikombinasikan dengan bahan pendukung seperti lateks untuk membuat formulasi yang sesuai untuk pembuatan *outsole* sandal (Lai et al., 2015). Campuran ini kemudian akan diproses menggunakan teknik vulkanisir, yang melibatkan reaksi kimia antara bahan gabungan dan belerang untuk meningkatkan kekuatan, elastisitas, dan daya tahan produk akhir. Seperti yang telah dijelaskan, proses vulkanisir sangat penting dalam meningkatkan sifat mekanik bahan plastik dan dapat diaplikasikan pada campuran limbah filter rokok untuk menghasilkan produk yang berkualitas tinggi. Berdasarkan formulasi tersebut, prototipe *outsole* sandal akan dibuat dan diuji untuk memastikan memenuhi standar kualitas yang diinginkan (Jana & Das, 2005).

Tahap berikutnya adalah pengujian dan evaluasi prototipe. Prototipe *outsole* sandal yang dihasilkan dari campuran limbah filter rokok akan menjalani serangkaian pengujian untuk menilai kekuatan, daya tahan, dan kelenturannya. Pengujian ini meliputi uji kekuatan tekan, uji ketahanan abrasi, dan uji kenyamanan untuk memastikan bahwa produk akhir dapat digunakan secara efektif dalam aplikasi komersial (Morales-Segura et al., 2020) dan menekankan pentingnya pengujian material dalam proses pengembangan produk untuk memastikan bahwa material yang digunakan memenuhi standar industri dan dapat diandalkan (Mital et al., 2014). Hasil dari pengujian ini akan memberikan wawasan tentang kinerja material dan memungkinkan penyesuaian formulasi jika diperlukan.

Tahap terakhir adalah tahap analisis data. Setelah tahap pengujian selesai, data yang diperoleh akan dianalisis untuk mengevaluasi keefektifan metode dan kinerja material. Analisis ini melibatkan perbandingan hasil pengujian dengan standar industri serta mengevaluasi potensi keuntungan dan kerugian dari penggunaan limbah filter rokok dalam pembuatan *outsole* sandal (Balaji et al., 2020). Analisis data yang komprehensif merupakan langkah penting dalam merangkum hasil penelitian dan membuat rekomendasi untuk aplikasi lebih lanjut. Penyusunan laporan akhir akan melibatkan pendokumentasian temuan penelitian, kesimpulan, dan saran untuk pengembangan lebih lanjut dan penggunaan bahan yang diuji.

Metode ini dirancang untuk memberikan pendekatan sistematis dan menyeluruh dalam mengeksplorasi pemanfaatan limbah filter rokok sebagai bahan alternatif, dengan tujuan menghasilkan produk yang ramah lingkungan dan berkualitas tinggi.

### 3. Hasil dan pembahasan

Proses penelitian dimulai dengan identifikasi dan pengumpulan limbah filter rokok dari berbagai lokasi yang dipilih dengan cermat untuk memastikan representativitas sampel. Lokasi-lokasi tersebut termasuk area perkotaan dan komersial yang memiliki tingkat konsumsi rokok yang tinggi. Pengumpulan limbah dilakukan secara sistematis, menggunakan metode yang terstruktur untuk mendapatkan volume limbah yang cukup bagi analisis dan pemrosesan lebih lanjut. Selama proses pengumpulan, filter rokok yang ditemukan dipilih dengan hati-hati untuk memastikan bahwa hanya filter yang belum tercampur dengan bahan lain yang dikumpulkan. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan kontaminasi dan memastikan kualitas material yang akan diproses. Limbah filter rokok yang berhasil dikumpulkan menunjukkan variasi dalam tingkat kebersihan dan kondisi fisik. Beberapa filter rokok tampak lebih kotor dan terkontaminasi, sementara yang lain relatif bersih.

Temuan dari tahap ini menunjukkan bahwa meskipun ada variasi dalam kebersihan dan kondisi fisik, sebagian besar limbah yang terkumpul dapat digunakan setelah melalui proses pembersihan yang menyeluruh. Jumlah limbah yang terkumpul mencerminkan tingginya tingkat konsumsi rokok di area perkotaan yang dipilih sebagai lokasi pengumpulan. Data ini memberikan gambaran yang jelas tentang potensi besar dari limbah filter rokok yang dapat dimanfaatkan untuk tujuan penelitian ini. Proses identifikasi dan pengumpulan ini menjadi langkah awal yang penting dalam penelitian, memastikan bahwa sampel yang digunakan representatif dan cukup untuk mendukung analisis serta pemrosesan lebih lanjut. Dengan pengumpulan yang sistematis dan seleksi yang ketat, penelitian ini dapat memulai tahap berikutnya dengan bahan baku yang memadai dan berkualitas.

Proses pemrosesan limbah filter rokok dimulai dengan tahap pembersihan. Limbah filter rokok dicuci menggunakan air dan bahan pembersih yang efektif untuk menghilangkan kotoran serta kontaminan yang mungkin ada. Dalam praktiknya, proses pembersihan ini memerlukan beberapa kali pencucian untuk memastikan kebersihan maksimal dari limbah tersebut. Hasil pengamatan yang terdapat pada Gambar 5 menunjukkan bahwa terdapat perubahan warna dan aroma setelah melalui beberapa kali pencucian, sebagian besar kotoran berhasil dihilangkan, menghasilkan limbah yang tampak lebih bersih dan seragam. Limbah yang telah dibersihkan ini kemudian siap untuk memasuki tahap berikutnya, yaitu pengeringan.



Gambar 5. Proses pembersihan filter rokok



Gambar 6. Kondisi filter rokok sebelum diolah, utuh (kiri), kupas (tengah), suwir (kanan)

Tabel 1. Komposisi Material dan Jenis Perekat yang Digunakan

No	Komposisi Material	Jenis Perekat	Durasi Waktu	Hasil
1	200 g filter rokok kupas, 100 g lem	PVAC	1 hari	
2	80 g filter rokok suwir, 40 g lem	PVAC	1 hari	
3	80 g filter rokok utuh, 40 g lem	PVAC	1 hari	
4	80 g filter rokok kupas, 40 g lem	PVAC	1 hari	
5	100 g filter rokok suwir, 50 g lem	Lateks	1 hari	
6	100 g filter rokok suwir, 50 g lem	PU	1 hari	
7	100 g filter rokok suwir, 50 g lem	Bio	1 hari	

Setelah proses pembersihan, limbah filter rokok yang telah bersih dikeringkan secara menyeluruh. Proses pengeringan dilakukan dengan mengalirkan udara panas selama beberapa jam hingga limbah benar-benar kering. Penggunaan udara panas memastikan bahwa setiap bagian dari limbah filter

rokok bebas dari kelembaban yang dapat mengganggu tahap pemrosesan selanjutnya. Temuan menunjukkan bahwa limbah yang telah dikeringkan memiliki bobot yang lebih ringan dan tekstur yang lebih rapuh, menjadikannya siap untuk tahap penggilingan.

Tahap akhir dalam proses pemrosesan limbah filter rokok adalah penggilingan. Limbah filter rokok yang telah dikeringkan digiling menjadi serbuk halus. Proses penggilingan ini menghasilkan serbuk yang merata dan konsisten, yang sangat penting untuk mempermudah pencampuran dengan bahan pendukung lainnya seperti lateks.

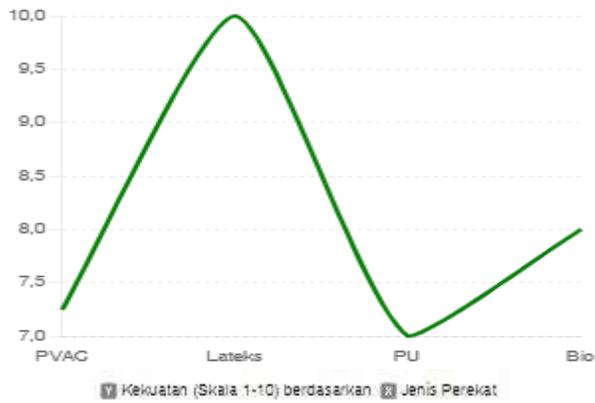
Hasil penggilingan menunjukkan bahwa serbuk yang dihasilkan memiliki tekstur halus dan homogen, memastikan bahwa pencampuran dengan bahan lain akan berjalan dengan baik dan menghasilkan formulasi material *outsole* yang optimal. Proses penggilingan ini menjadi langkah krusial untuk memastikan konsistensi dalam formulasi material, yang pada akhirnya akan mempengaruhi kualitas dan performa dari *outsole* sandal yang dibuat. Dari hasil pengolahan material *outsole* sandal yang dihasilkan dari campuran limbah filter rokok menjalani serangkaian pengujian untuk menilai kekuatan, ketahanan, dan fleksibilitasnya.

### Pengaruh jenis perekat terhadap kekuatan

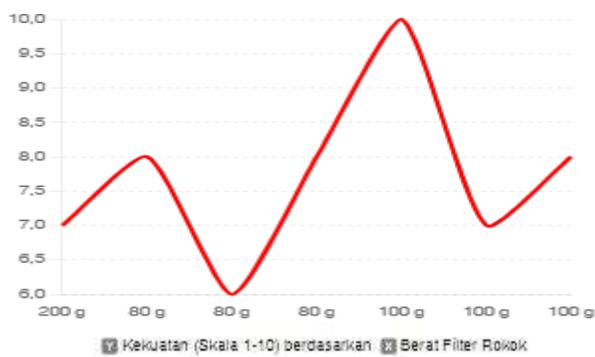
Dalam penelitian ini, salah satu aspek penting yang dianalisis adalah pengaruh jenis perekat terhadap kekuatan material *outsole* sandal yang dibuat dari limbah filter rokok. Berbagai jenis perekat yang diuji meliputi PVAC, Lateks, PU, dan Bio adhesive. Pengujian dilakukan untuk menentukan perekat mana yang memberikan kekuatan material terbaik.

Grafik ini menunjukkan bagaimana kekuatan berbeda-beda untuk setiap jenis perekat: PVAC, Lateks, PU, dan Bio. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis perekat memiliki pengaruh yang besar terhadap kekuatan material *outsole* sandal dari limbah filter rokok. Lateks menunjukkan kekuatan tertinggi di antara semua jenis perekat yang diuji, dengan nilai kekuatan 10.

Hal ini menempatkan lateks sebagai pilihan utama untuk meningkatkan kekuatan material dalam penelitian ini. *Bio-adhesive*, meskipun memiliki kekuatan yang lebih rendah dengan nilai 8, masih menunjukkan potensi yang baik, terutama untuk aplikasi yang mengutamakan bahan ramah lingkungan. Dengan demikian, pemilihan jenis perekat yang tepat sangat penting untuk memastikan kekuatan dan daya tahan material yang dihasilkan. Lateks, dengan kemampuan ikatan yang superior, menjadi bahan perekat yang direkomendasikan untuk pembuatan *outsole* sandal dari limbah filter rokok.



Gambar 7. Pengaruh jenis perekat terhadap kekuatan



Gambar 8. Pengaruh berat filter rokok terhadap kekuatan

Temuan ini memberikan panduan yang jelas untuk tahap pengembangan produk lebih lanjut, memastikan bahwa material yang dihasilkan tidak hanya kuat tetapi juga sesuai dengan standar kualitas yang diharapkan.

**Pengaruh berat filter rokok terhadap kekuatan**

Dalam penelitian ini, pengaruh berat filter rokok terhadap kekuatan material *outsole* sandal dianalisis untuk menentukan bobot optimal yang memberikan kekuatan terbaik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga bobot filter rokok yang berbeda, yaitu 200 g, 80 g, dan 100 g. Setiap sampel dicampur dengan perekat yang sama (lateks) untuk memastikan hasil yang konsisten.

Dari grafik pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa berat filter rokok memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan material *outsole* sandal yang dihasilkan. Filter rokok dengan berat 100 g memberikan kekuatan rata-rata tertinggi sebesar 8.33 dan menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan berat lainnya. Bobot ini memberikan keseimbangan optimal antara jumlah

material dan distribusi perekat, menghasilkan material yang lebih kuat dan tahan lama.

**Kekuatan material berdasarkan bentuk material**

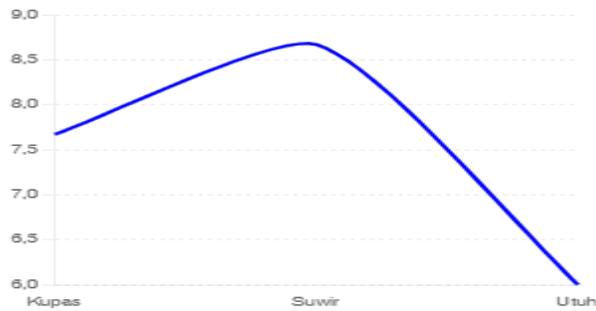
Penelitian ini juga menganalisis pengaruh bentuk material limbah filter rokok terhadap kekuatan *outsole* sandal yang dihasilkan. Tiga bentuk material yang diuji adalah filter rokok yang dikupas, disuwir, dan dibiarkan utuh. Setiap sampel dicampur dengan perekat lateks, yang sebelumnya telah terbukti memberikan kekuatan material terbaik. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan bentuk material yang memberikan kekuatan optimal.

Grafik hasil pengujian menunjukkan variasi kekuatan yang signifikan berdasarkan bentuk material limbah filter rokok yang digunakan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bentuk material limbah filter rokok memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan material *outsole* sandal yang dihasilkan. Bentuk suwir memberikan kekuatan tertinggi dengan nilai rata-rata 9, diikuti oleh bentuk kupas dengan nilai rata-rata 8. Bentuk utuh memiliki kekuatan terendah dengan nilai rata-rata 6. Berdasarkan temuan ini, bentuk suwir direkomendasikan sebagai bentuk material optimal untuk pembuatan *outsole* sandal dari limbah filter rokok. Proses suwir menghasilkan serbuk halus yang memungkinkan perekat menembus dan menyatu lebih baik dengan serat filter, menciptakan ikatan yang kuat dan material yang tahan lama.

Kesimpulan ini juga sejalan dengan temuan sebelumnya bahwa lateks menunjukkan kekuatan tertinggi di antara semua jenis perekat yang diuji, dan berat filter rokok 100 g memberikan kekuatan rata-rata tertinggi. Oleh karena itu, kombinasi optimal untuk pembuatan *outsole* sandal adalah menggunakan filter rokok yang disuwir dengan berat 100 g dan perekat lateks.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *outsole* sandal dari limbah filter rokok memiliki kekuatan yang cukup baik dan kelenturan yang memadai untuk digunakan sebagai sandal. Tabel 1 merangkum hasil uji coba kekuatan dan kelenturan material berdasarkan berbagai komposisi limbah filter rokok dan jenis perekat yang digunakan.

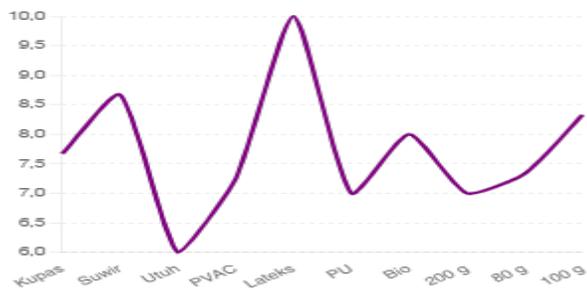
Untuk menemukan titik optimal yang saling bersinggungan dari ketiga variabel penting dalam penelitian ini, yaitu bentuk material, jenis perekat, dan berat filter rokok, dilakukan analisis gabungan menggunakan diagram garis. Visualisasi data ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif tentang bagaimana masing-masing variabel mempengaruhi kekuatan material yang dihasilkan.



Gambar 9. Kekuatan material berdasarkan bentuk material

Tabel 1. Hasil uji coba kekuatan dan kelenturan material

No	Komposisi Material	Jenis Perekat	Kekuatan (Skala 1-10)	Kelenturan (Skala 1-10)
1	200 g filter rokok kupas, 100 g lem	PVAC	7	5
2	80 g filter rokok suwir, 40 g lem	PVAC	8	7
3	80 g filter rokok utuh, 40 g lem	PVAC	6	4
4	80 g filter rokok kupas, 40 g lem	PVAC	8	7
5	100 g filter rokok suwir, 50 g lem	Lateks	10	10
6	100 g filter rokok suwir, 50 g lem	PU	7	6
7	100 g filter rokok suwir, 50 g lem	Bio	8	7



Gambar 10. Kekuatan material berdasarkan variabel

Tabel 2. Hasil pengujian kekuatan tekan outsole sandal

Jenis Campuran	Tekanan Maksimum (MPa)	Standar (MPa)
Campuran Limbah Filter Rokok	15.2	10.0
Karet Biasa	18.5	15.0

Diagram garis yang dibuat menampilkan kekuatan material dalam skala 1-10 untuk setiap kombinasi variabel. Garis putus-putus merah dalam diagram menunjukkan rata-rata kekuatan dari seluruh data, memudahkan perbandingan dan penilaian performa masing-masing kombinasi. Sehingga ini menegaskan bahwa kombinasi optimal untuk pembuatan outsole sandal adalah menggunakan filter rokok yang disuwir dengan berat 100 g dan perekat lateks. Kombinasi ini menghasilkan material dengan kekuatan dan daya tahan yang optimal, sesuai dengan standar kualitas yang diharapkan. Visualisasi data dalam diagram garis memberikan gambaran yang jelas dan komprehensif tentang bagaimana masing-masing variabel berinteraksi untuk mempengaruhi kekuatan material yang dihasilkan.

### Pengujian kekuatan tekan

Pengujian kekuatan tekan dilakukan untuk menilai seberapa kuat outsole sandal yang dibuat dari campuran limbah filter rokok. Hasil pengujian ditampilkan dalam Tabel 1. Data menunjukkan bahwa kekuatan tekan outsole sandal yang terbuat dari limbah filter rokok mencapai 15.2 MPa, yang lebih tinggi dari standar minimum 10.0 MPa tetapi sedikit di bawah kekuatan karet biasa (18.5 MPa). Hasil pengujian kekuatan tekan menunjukkan bahwa outsole sandal dari limbah filter rokok memiliki kekuatan tekan yang cukup baik, meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan dengan karet biasa. Kekuatan tekan yang dicapai melebihi standar minimum yang diharapkan, menunjukkan bahwa limbah filter rokok dapat digunakan sebagai bahan alternatif yang efektif untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan tekan. Hal ini sejalan dengan temuan dari (Sánchez et al., 2019), yang mengindikasikan bahwa limbah daur ulang dapat menghasilkan material dengan kekuatan mekanik yang kompetitif.

### Pengujian ketahanan terhadap abrasi

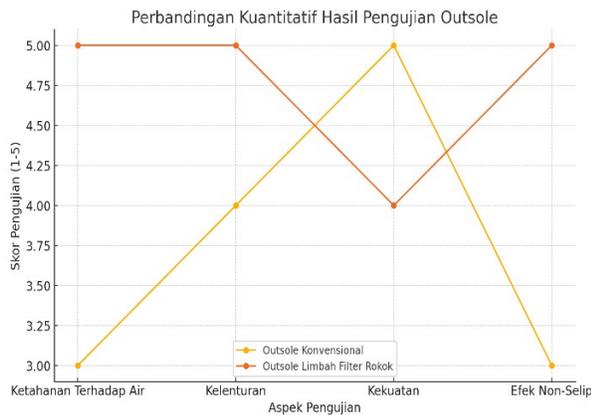
Pengujian ketahanan terhadap abrasi dilakukan untuk menilai seberapa tahan outsole sandal terhadap keausan. Proses ini penting untuk memastikan bahwa material yang digunakan dalam pembuatan outsole dapat bertahan dalam berbagai kondisi penggunaan sehari-hari tanpa mengalami kerusakan signifikan. Hasil pengujian ini sangat penting bagi evaluasi kualitas dan daya tahan material, terutama untuk aplikasi komersial. Pengujian dilakukan dengan mengukur volume material yang hilang (dalam milimeter kubik, mm<sup>3</sup>) setelah material tersebut dikenakan abrasi dalam kondisi tertentu. Dua jenis campuran yang diuji adalah campuran limbah filter

Tabel 3. Hasil pengujian ketahanan terhadap abrasi

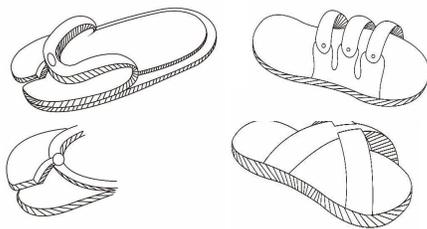
Jenis Campuran	Abrasi (mm <sup>3</sup> )	Standar (mm <sup>3</sup> )
Campuran Limbah Filter Rokok	50.4	60.0
Karet Biasa	45.2	55.0

Tabel 4. Sifat fisik material *outsole* dari limbah filter rokok

Sifat Fisik	Nilai
Kekuatan	Tinggi
Kelenturan	Tinggi
Daya Tahan Terhadap Air	Baik
Tekstur	Bergelombang



Gambar 11. Kekuatan material berdasarkan variabel



Gambar 12. Sketsa Produk

rokok dan karet biasa sebagai pembandingan. Standar ketahanan terhadap abrasi yang digunakan sebagai acuan adalah 60.0 mm<sup>3</sup>. Hasil pengujian ditampilkan dalam Tabel 3.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, material yang diperoleh dari limbah filter rokok memiliki beberapa sifat fisik yang unggul. Material ini mampu menahan tekanan dan beban saat digunakan sebagai *outsole*, memastikan tidak mudah rusak atau hancur di bawah tekanan berat. Tingkat kelenturannya tinggi, memberikan kenyamanan saat digunakan dan menyesuaikan dengan kontur tanah, sehingga pengguna merasakan kenyamanan dan adaptabilitas yang optimal. Material ini juga memiliki daya tahan yang baik terhadap air, sehingga tidak mudah rusak

atau hancur ketika terkena air, memungkinkan sandal digunakan dalam kondisi basah tanpa kerusakan signifikan. Tekstur material yang bergelombang memberikan daya cengkeram yang baik dan tidak mudah slip, memastikan keamanan bagi pengguna.

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi filter rokok suwir dengan perekat lateks menghasilkan material *outsole* dengan sifat fisik yang optimal, yaitu kekuatan dan kelenturan yang tinggi, daya tahan terhadap air yang baik, dan tekstur yang memberikan daya cengkeram yang memadai. Rekomendasi desain produk berdasarkan analisis ini mencakup penggunaan kombinasi terbaik antara filter rokok suwir dan perekat lateks sebagai bahan utama *outsole*, desain struktur yang fleksibel dan tipis namun kuat, pola tapak dengan tekstur bergelombang untuk meningkatkan daya cengkeram, serta pelapisan tambahan untuk meningkatkan daya tahan terhadap air. Selain itu, pengujian tambahan dalam kondisi nyata diperlukan untuk memastikan performa optimal dalam berbagai kondisi. Gambar 11 merupakan visualisasi perbandingan kuantitatif hasil pengujian dalam bentuk grafik garis. Grafik pada Gambar 11 tersebut menampilkan performa antara *outsole* konvensional dan *outsole* dari limbah filter rokok pada beberapa aspek. Hasilnya menunjukkan bahwa ketahanan terhadap air dan efek non-selip terlihat lebih unggul pada *outsole* limbah filter rokok. Kelenturan juga menunjukkan performa maksimum pada material limbah filter rokok. Kekuatan sedikit lebih tinggi pada *outsole* konvensional. Grafik pada Gambar 11 tersebut mempermudah analisis perubahan performa di tiap aspek pengujian untuk kedua jenis material *outsole*. Dengan mengikuti rekomendasi ini, diharapkan dapat dihasilkan produk sandal dengan *outsole* yang kuat, lentur, tahan air, dan aman digunakan di berbagai kondisi permukaan.

### Prototipe

Sketsa pada Gambar 12 menunjukkan sandal jepit yang memiliki mekanisme dengan benik pada bagian tali. Fungsi dari mekanisme tersebut untuk mempermudah pada saat menyimpan sandal. Sehingga sandal menjadi terlihat lebih lebar, karena ada bagian kosong sebagai tempat untuk menyimpan tali. Sketsa pada Gambar tersebut juga menunjukkan sandal dengan *upper* untuk laki-laki dan perempuan.

Tahap pembuatan model merupakan tahap akhir sebelum perwujudan produk asli. Dalam tahap ini setiap sketsa pengembangan yang terpilih akan dibuat untuk mengetahui wujud produk dalam bentuk 3 dimensi sehingga lebih mendapatkan gambaran produk yang nantinya akan dibuat. Model sandal dengan *upper* untuk laki-laki dan perempuan, skala



Gambar 12. 3D rendering *freeze* design produk



Gambar 13. Model produk



Gambar 14. Produk final

1:1. Konsep modeling menggunakan material kulit untuk *upper* dan alas sandal. Untuk bagian *outsole* menggunakan material olahan limbah filter rokok.

#### Pengujian kenyamanan

Pengujian kenyamanan dilakukan dengan melibatkan pengguna dalam uji coba prototipe *outsole* sandal (Gambar 14). Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe *outsole* sandal yang terbuat dari limbah filter rokok mendapatkan nilai rata-rata 4.2 untuk kelembutan, 4.0 untuk fleksibilitas, dan 3.8 untuk dukungan. Nilai ini menunjukkan tingkat kenyamanan yang baik, meskipun dukungan sedikit lebih rendah dibandingkan dengan standar ideal. Kelembutan dan fleksibilitas menunjukkan hasil yang positif, sementara dukungan sedikit lebih rendah tetapi masih dalam rentang yang dapat diterima.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan limbah filter rokok sebagai bahan utama dalam pembuatan *outsole* sandal melalui metode eksplorasi material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi filter rokok suwir dengan perekat lateks menghasilkan material dengan sifat fisik yang optimal, yaitu kekuatan dan kelenturan yang tinggi, daya tahan terhadap air yang baik, dan tekstur yang memberikan daya cengkeram yang memadai. Material ini dapat digunakan sebagai alternatif yang ramah lingkungan untuk bahan *outsole* sandal. Esensi penelitian ini mencakup beberapa aspek penting. Pertama, kombinasi filter rokok suwir dengan lateks menunjukkan hasil terbaik dalam hal kekuatan dan kelenturan, masing-masing mencapai nilai 10 pada skala 1-10. Kedua, material ini menunjukkan daya tahan yang baik terhadap air, menjadikannya cocok untuk digunakan dalam kondisi basah. Ketiga, tekstur bergelombang dari material memberikan daya cengkeram yang baik, meningkatkan keamanan pengguna sandal. Penelitian ini sejalan dengan penelitian lain yang mengeksplorasi penggunaan limbah sebagai bahan alternatif dalam produk sehari-hari. Misalnya, penelitian oleh (Zhang et al., 2020) yang menunjukkan bahwa penggunaan limbah plastik sebagai bahan konstruksi dapat menghasilkan material yang kuat dan tahan lama. Namun, penelitian ini berkontribusi lebih lanjut dengan fokus khusus pada limbah filter rokok, yang sebelumnya kurang diperhatikan dalam konteks aplikasi material.

Penelitian ini mengisi celah dalam literatur mengenai penggunaan limbah filter rokok, yang seringkali hanya dianggap sebagai limbah tidak

berguna. Penelitian sebelumnya lebih banyak fokus pada limbah plastik atau logam sebagai bahan alternatif. Dengan demikian, penelitian ini memperkenalkan perspektif baru dalam pemanfaatan limbah filter rokok yang berpotensi mengurangi polusi lingkungan. Dalam studi banding dengan material *outsole* konvensional seperti karet dan EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*), material dari limbah filter rokok dengan lateks menunjukkan sifat yang kompetitif. Kekuatan dan kelenturannya mampu bersaing dengan karet konvensional, sementara daya tahan terhadap air dan teksturnya memberikan keuntungan tambahan yang tidak selalu ada pada bahan konvensional. Hasil riset ini diperkuat dengan data empiris dari pengujian laboratorium yang menunjukkan performa material yang konsisten. Temuan ini juga didukung oleh penelitian lain yang menunjukkan bahwa bahan daur ulang dan limbah dapat diubah menjadi material yang bernilai tinggi (Zhang et al., 2020). Implementasi dalam bentuk prototipe *outsole* sandal yang diuji dalam kondisi nyata menunjukkan bahwa material ini dapat digunakan secara efektif dalam produk komersial.

Kesimpulannya, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam bidang material alternatif dan pengelolaan limbah, dengan menunjukkan bahwa limbah filter rokok dapat diubah menjadi bahan bernilai tinggi untuk *outsole* sandal. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi teknik pengolahan material lainnya dan aplikasi potensial dari limbah filter rokok pada produk lain, serta uji coba dalam kondisi penggunaan nyata untuk memastikan keberlanjutan dan efektivitas material yang dihasilkan.

## Daftar pustaka

- Balaji, R., Selokar, A., Ugemuge, N., Modi, V., & Goyal, C. (2020). Scrapped cigarette filter and coconut coir filled polymer composite. *Materials Today: Proceedings*, 33, 4311–4317. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.439>
- Duan, Z., Hou, S., Xiao, J., & Li, B. (2020). Study on the essential properties of recycled powders from construction and demolition waste. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119865. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119865>
- Huang, K., Yang, G., Zhang, S., Li, Z., Li, H., Jiang, X., Liu, W., Liu, W., Wang, B., Yan, X., & Lin, W. (2024). Research on digital remodeling of structural features of cigarette filter rod based on 3D digital twin technology. *Proc.SPIE*, 12969, 1296920. <https://doi.org/10.1117/12.3014423>
- Jana, G. K., & Das, C. K. (2005). Mechanochemical Devulcanization of Vulcanized Gum Natural Rubber. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, 21(3), 183–199. <https://doi.org/10.1177/147776060502100302>
- Kadir, A. A., & Sarani, N. A. (2015). Cigarette Butts Pollution and Environmental Impact – A Review. *Applied Mechanics and Materials*, 773–774, 1106–1110. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.1106>
- Lai, M. K., Teo, H. H., & Lee, J. Y. (2015). Recycled Cigarette Filter as Reinforcing Filler for Natural Rubber. *Applied Mechanics and Materials*, 705, 39–43. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.705.39>
- Liu, C., Chen, B., Yang, J., & Li, C. (2015). One-step fabrication of superhydrophobic and superoleophilic cigarette filters for oil-water separation. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 29(22), 2399–2407. <https://doi.org/10.1080/01694243.2015.1062653>
- Lyu, Y., Asoh, T.-A., & Uyama, H. (2021). Fabrication of Inorganic Oxide Fiber Using a Cigarette Filter as a Template. *ACS Omega*, 6(23), 15374–15381. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c01750>
- Maciel, L. A. R., Loiola, R. L., & Holanda, J. N. F. (2020). Feasibility of using cigarette butts waste in eco-friendly ceramic roofing tile. *SN Applied Sciences*, 2(12), 2014. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03672-4>
- Mital, A., Desai, A., Subramanian, A., & Mital, A. (2014). 5 - *Consideration and Selection of Materials* (A. Mital, A. Desai, A. Subramanian, & A. B. T.-P. D. (Second E. Mital (eds.); pp. 109–132). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799945-6.00005-3>
- Morales-Segura, M., Porras-Amores, C., Villoria-Sáez, P., & Caballol-Bartolomé, D. (2020). Characterization of Gypsum Composites Containing Cigarette Butt Waste for Building Applications. In *Sustainability* (Vol. 12, Issue 17). <https://doi.org/10.3390/su12177022>
- Novotny, T. E., & Slaughter, E. (2014). Tobacco Product Waste: An Environmental Approach to Reduce Tobacco Consumption. *Current Environmental Health Reports*, 1(3), 208–216. <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0016-x>
- Poppendieck, D., Khurshid, S., & Emmerich, S. (2016). *Measuring airborne emissions from cigarette butts: literature review and experimental plan*. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8147>
- Sánchez, M. L., Capote, G., & Carrillo, J. (2019). Composites reinforced with Guadua fibers: Physical and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 228, 116749. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116749>
- Sevostyanov, V. S., Goryagin, P. Y., Obolonsky, V. V., & Ermilov, R. A. (2018). Resource-Saving Technological Complex for Polymer Waste Processing. *Journal of Physics: Conference Series*, 1066(1), 12025. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1066/1/012025>
- Yu, C., Hou, H., Liu, X., Han, L., Yao, Y., Dai, Z., & Li, D. (2018). The Recovery of the Waste Cigarette Butts for N-Doped Carbon Anode in Lithium Ion Battery. *Frontiers in Materials*, 5(63), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fmats.2018.00063>
- Zhang, J., Xu, H., Guo, J., Chen, T., & Liu, H. (2020). Superhydrophobic Polypyrrole-Coated Cigarette Filters for Effective Oil/Water Separation. In *Applied Sciences* (Vol. 10, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/app10061985>

\*\*\*