

## PEMANFAATAN LIMBAH *PHYLON* SEBAGAI BAHAN BAKU SOL LUAR SANDAL *OUTDOOR*

*Utilization of Phylon Waste as Raw Material for Outdoor Sandal Outsole*

**Andri Saputra dan Adinda Dwi Berliana**

Prodi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta,  
Jalan Ateka, Ngoto, Bangunharjo, Sewon, Bantul, 55187  
Email: andri.saputra@atk.ac.id

Diterima 25 Juli 2024 / Direvisi 28 Agustus 2024 / Disetujui 18 September 2024

### **Abstrak**

Pertumbuhan industri alas kaki meningkatkan jumlah limbah *phylon*. Limbah *phylon* yang tidak diolah dengan baik memberikan dampak buruk bagi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mendaur ulang limbah *phylon* sebagai bahan campuran utama untuk sol luar (*outsole*) sandal *outdoor* karena *phylon* umumnya digunakan pada *outsole* alas kaki aktivitas *outdoor*. Limbah *phylon* dicampur dengan bahan lainnya sesuai formulasi yang telah dirancang menggunakan *kneader* dan mesin *two-roll mill*, lalu dicetak menggunakan mesin *hot press moulding* pada suhu 140-150 °C selama 3 menit. Hasil penelitian menyatakan bahwa limbah *phylon* dapat didaur ulang menjadi bahan utama untuk pembuatan *outsole* sandal *outdoor*. *Outsole* yang dihasilkan pada berbagai formulasi memiliki permukaan rata dan tidak memiliki kecacatan seperti sobekan dan keretakan. Kompon yang menggunakan limbah *phylon* 13 phr memberikan kekerasan sebesar 65 Shore A dan indeks abrasi 29,12%, sedangkan kompon yang menggunakan limbah *phylon* 31 phr memberikan kekerasan sebesar 70 Shore A dan indeks abrasi 46%. Kekerasan dan indeks abrasi *outsole* mengalami peningkatan seiring bertambahnya bagian limbah *phylon* dalam kompon karet. Meskipun kekerasan *outsole* meningkat, namun *outsole* tersebut tetap tidak retak setelah dilakukan uji retak lentur.

Kata kunci: limbah *phylon*, *outsole*, sandal *outdoor*, uji abrasi, uji retak lentur

### **Abstract**

*The growth of the footwear industry contributes to the accumulation of phylon waste. Improperly processed phylon waste has detrimental effects on the environment. This study aims to recycle phylon waste as the main blending material for the outdoor sandal outsole. Phylon waste was mixed with other materials according to the formulation designed by using a kneader and two-roll mill machine and then moulded by using a hot press moulding machine at a temperature of 140-150 °C for 3 minutes. The results indicated that phylon waste could be recycled into the main material for the production of outdoor sandal outsoles. The outsole produced in different formulations has a flat surface and no defects such as cracks and tears. The compound using 13 phr phylon waste exhibited a hardness of 65 Shore A and an abrasion index of 29.12%, while the compound using 31 phr phylon waste exhibited a hardness of 70 Shore A and an abrasion index of 46%. The hardness and abrasion index of the outsole increased as the percentage of phylon scrap in the rubber compound increased. Although the outsole's hardness increased, it did not crack after the flex cracking test.*

*Keywords: phylon waste, outsole, outdoor sandals, abrasion test, flex cracking test*

### **Pendahuluan**

Bahan polimer berbasis kopolimer etilen-vinil asetat (EVA) umumnya digunakan dalam pembuatan sol olahraga alas kaki karena kepadatannya yang rendah dan pemrosesan

yang mudah '(Çopuroglu & Sen, 2005; Faga *et al.*, 2022). Namun, sol yang dibuat dengan kopolimer EVA tidak memiliki ketahanan abrasi yang memadai dan menunjukkan stabilitas termal yang rendah. Untuk mengatasi keterbatasan ini, penambahan polietilena (PE) densitas rendah ke dalam EVA merupakan hal yang umum dilakukan, dan campuran EVA-PE ini umumnya dinamai *phylon* (Jofre-Reche & Martín-Martínez, 2013). Dalam dekade terakhir, industri alas

kaki banyak menggunakan bahan menyerupai karet (*rubber-like*) seperti *phylon*. Bahan *phylon* yang menyerupai karet tersebut dinilai memiliki kelebihan seperti memiliki sifat yang ringan dan awet. Namun, karena penggunaan *phylon* yang semakin meningkat menyebabkan limbah yang dihasilkan dalam setahun jumlahnya cukup tinggi sekitar 190.400 ton baik dalam bentuk serbuk *phylon* (Gambar 1), maupun limbah *phylon* dalam ukuran yang lebih besar (Roberto *et al.*, 2010).



Gambar 1. Tampilan limbah serbuk *phylon*

*Phylon* memiliki sifat fleksibel, mudah diproses, tahan terhadap suhu rendah, tahan terhadap keretakan akibat tekanan atau sobekan, *waterproof*, anti lengket, tahan radiasi ultraviolet, dan tidak berbau (Adani, 2016). *Phylon* memiliki kandungan bahan kimia *ethylene* dan *vinyl acetate* yang merupakan bahan plastik termoset sehingga setelah mengalami proses vulkanisasi akan terbentuk ikatan silang yang permanen (Júnior *et al.*, 2022) sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk terurai sempurna. Hal tersebut tentu menimbulkan kekhawatiran terkait pencemaran lingkungan jika limbah *phylon* dibuang begitu saja ke lingkungan. Produk yang berbasis minyak bumi, seperti *phylon*,

yang digunakan untuk membuat alas kaki mengakibatkan pencemaran lingkungan yang serius ketika dibuang ke tempat pembuangan akhir karena sifatnya yang tidak mudah terurai (Nurhajati *et al.*, 2021). Limbah *phylon* jika dibakar menghasilkan gas yang berbahaya seperti karbondioksida, oksida nitrogen, partikulat, hidrokarbon, dan oksida sulfur yang menimbulkan pencemaran lingkungan (Suciati, 2016).

Tuntutan yang cukup besar diterapkan pada industri polimer untuk memaksanya meminimalkan dampak limbah polimer terhadap lingkungan. Karena bahan polimer tidak mudah terurai, pembuangan limbah polimer merupakan masalah lingkungan yang

serius. Salah satu pendekatan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan mendaur ulang dan menggunakan kembali bahan bekas dan limbah (Moreira & Soares, 2002). Memilih untuk mendaur ulang limbah dibandingkan menggunakan insinerasi telah menjadi cara untuk menciptakan produk baru yang lebih ramah lingkungan, dan meminimalkan akumulasi limbah di tempat pembuangan sampah perkotaan (Asaro *et al.*, 2018). Beberapa industri memanfaatkan kembali limbah *phylon* sebagai bahan baku campuran pada beberapa produk karet. Untuk menghasilkan komposisi berkualitas untuk aplikasi dalam industri alas kaki, telah diusulkan konsep produksi bersih, yang mendaur ulang limbah *phylon* melalui penambahan karet alam dan sintetis melalui jalur mekanis/termal (Paiva Junior *et al.*, 2021).

Campuran limbah *phylon* (100-350 mm) dalam matriks karet nitril (NBR) pada 50 phr memberikan produk dengan sifat mekanik yang sangat baik, dengan morfologi yang lebih seragam (menggunakan analisis mekanik dinamis dan tarik) (Moreira & Soares, 2002). Komposit yang mengandung karet alam dan karet sintetis, serta berbagai konsentrasi limbah *phylon* dapat meningkatkan kekuatan tarik dan sobek, namun tidak mempengaruhi kekerasan dan ketahanan abrasi (Lopes *et al.*, 2015). Penambahan limbah *phylon* (15 hingga 35 bsk) pada alas kaki *expanded* EVA meningkatkan kekerasan 5%, kekuatan tarik 10%, dan kekuatan sobek 4% (Paiva Junior *et al.*, 2021). Berdasarkan literatur, investigasi komposit menggunakan limbah *phylon* masih produktif. Karena penambahan limbah *phylon* dapat meningkatkan kekerasan, maka limbah tersebut dipilih sebagai bahan baku pembuatan *outsole outdoor*. Hal ini berdasarkan pertimbangan bahwa produk tersebut membutuhkan kekerasan dan ketahanan abrasi yang tinggi (Pyo *et al.*, 2013). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pemanfaatan limbah *phylon* sebagai bahan baku pembuatan *outsole* sandal *outdoor*. Secara khusus penelitian ini mempelajari pengaruh konsentrasi limbah *phylon* terhadap sifat kekerasan, indeks abrasi,

keretakan, dan organoleptis *outsole* sandal *outdoor*.

## Bahan dan Metode

### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan seperti tertera pada formula dalam Tabel 1. Jumlah setiap bahan dalam formula dinyatakan dalam bagian seratus karet (bsk). Peralatan yang digunakan antara lain *kneader* Yi Tzung, *two roll mill* Yi Tzung, neraca Henherr, *rubber cutter* Hensun Trading CO, *trimmer* Yoo Sung Gong, *hot press moulding* Woil, *thickness gauge* digital TF-TGD030, *durometer*, *din abrasion tester* DECCA DC-5611, dan mesin uji retak lentur *Shoe Bending Tester* seri HT-7011S Produk dari Kao Tieh Machinery Industry Taiwan.

### Pembuatan *Outsole Sandal Outdoor*

Secara garis besar penelitian ini dilaksanakan mengikuti prosedur yang terdapat dalam diagram alir pada Gambar 2. Bahan ditimbang sesuai formula pada Tabel 1. Bahan utama, *plasticizer*, *activator*, dan *processing aid* dicampur dalam *kneader* selama 10 menit. Campuran diambil dari *kneader*, digiling menggunakan *two roll mill*, dan dicampur dengan *filler*, *accelerator*, dan *vulcanizing agent* selama 20 menit hingga homogen. Hasil pencampuran ini selanjutnya dikenal dengan lembaran kompon.

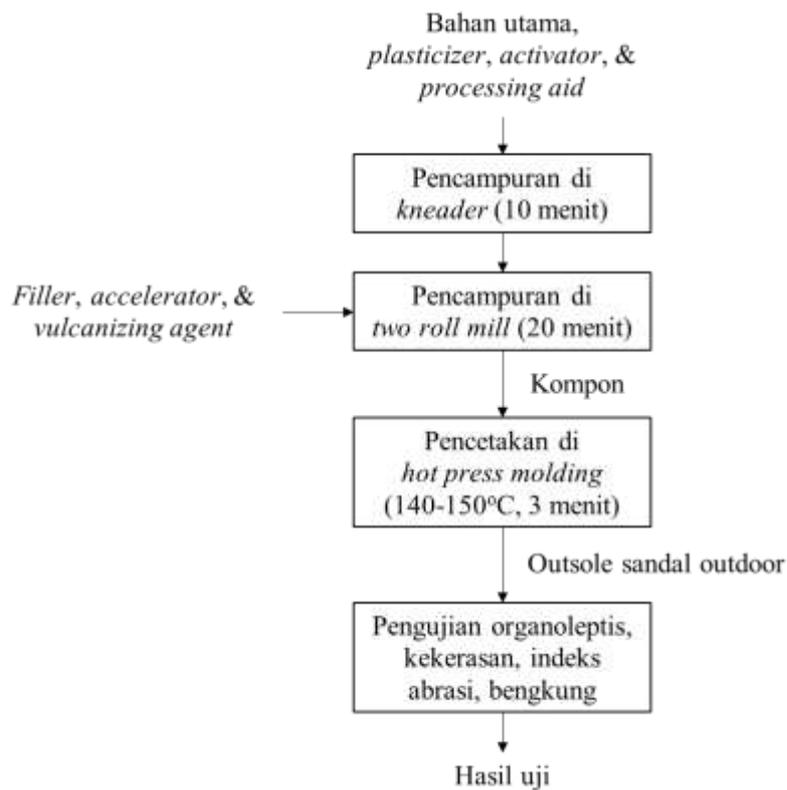
Suhu dan waktu cetak mengacu pada hasil uji rheologi menggunakan rheometer. Hasil uji rheologi kompon dengan tebal 4,5 cm pada suhu 150 °C diperoleh waktu optimum ( $t_{90}$ ) 37 detik. Lama pencetakan produk dihitung dengan perbandingan setara antara tebal dan waktu cetak. Kompon dicetak menjadi *outsole* sandal *outdoor* (tebal produk 22 mm) menggunakan *hot press moulding* pada suhu 140-150 °C selama 3 menit. Lalu *outsole* sandal *outdoor* diuji lebih lanjut.

### Pengujian *Outsole Sandal Outdoor*

Uji organoleptis dilakukan dengan pengamatan visual terhadap beberapa hal antara lain kerataan permukaan, sobekan, dan keretakan. Kekerasan *outsole* diukur

Tabel 1. Formula kompon karet

Bahan	Formula (bsk)				Supplier
	Kontrol	A	B	C	
Karet reklim	23	23	23	23	PT Bagus Unggul Sejahtera
Karet <i>brown crepe</i>	49	34	20	15	PT Sumber Jaya karet
Limbah <i>phylon</i>	0	15	29	34	CV Barokah Jaya Rubber
Serbuk vulkanisat	46	46	46	46	CV Barokah Jaya Rubber
Kalsium karbonat	48	48	48	48	PT Niraku Jaya Abadi
Kaolin	23	23	23	23	PT Aneka Kaoline Utama
Minyak minarex	21,6	21,6	21,6	21,6	PT Graha Jaya Pratama Kinerja
Seng oksida	0,8	0,8	0,8	0,8	PT Mandiri Indokimia Makmur
Asam stearat	1,2	1,2	1,2	1,2	PT Mandiri Indokimia Makmur
<i>Disperflow</i>	0,3	0,3	0,3	0,3	PT Mandiri Indokimia Makmur
H40MSF	0,3	0,3	0,3	0,3	PT Mandiri Indokimia Makmur
Tetrametil tiuram disulfida	0,4	0,4	0,4	0,4	PT Mandiri Indokimia Makmur
Sikloheksil benzotiazol sulfenamida	0,5	0,5	0,5	0,5	PT Mandiri Indokimia Makmur
Merkaptobenzotiazol	0,3	0,3	0,3	0,3	PT Mandiri Indokimia Makmur
Sulfur	1,3	1,3	1,3	1,3	PT Mandiri Indokimia Makmur



Gambar 2. Diagram alur penelitian

menggunakan durometer (Gambar 3). Indeks abrasi *outsole* diukur menggunakan din abrasion tester (Gambar 4a) mengacu pada ISO 4649:2010. Ketahanan retak lentur *outsole*

diuji menggunakan mesin *Shoe Bending Tester* (Gambar 4b) mengacu pada SNI 778:2017. Tiap pengukuran dan pengujian dilakukan secara triplo atau tiga kali pengulangan.



Gambar 3. Durometer



(a)



(b)

Gambar 4. Alat uji (a) *Din abrasion tester* (b) *Shoe Bending Tester*

### Hasil dan Pembahasan

Bahan *phylon* merupakan bahan termoplastik elastis yang sifatnya dikenal menyerupai karet atau *rubber-like* (Mészáros *et al.*, 2008). Bahan ini merupakan kopolimer jenuh yang monomernya (*ethylene* dan *vinyl acetate*) terikat oleh ikatan kovalen (Posadas *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2020). Karena *phylon* memiliki sifat yang menyerupai karet dan tergolong dalam bahan polimer, bahan *phylon*

pada dasarnya dapat dikombinasikan dengan karet menjadi suatu material komposit. Limbah *phylon* masih memiliki sifat yang sama seperti bahan *phylon* murni, namun mengalami sedikit penurunan kualitas karena sudah mendapatkan perlakuan termal pada tahap pembuatan produk sebelumnya. Pada dasarnya limbah *phylon* termasuk bahan termoplastik yang ketika mendapatkan panas maka akan bisa dengan mudah dibentuk menjadi bentuk lainnya, sehingga bahan ini

berpotensi untuk diaplikasikan pada produk komposit dalam penelitian ini seperti *outsole* sandal *outdoor*. *Phylon* (EVA-PE) dapat berikatan silang atau *crosslink* dengan karet *brown crepe* (karet alam poliisoprena) membentuk bahan komposit. Ikatan silang

antara *phylon* dan poliisoprena terbentuk karena adanya gaya antar muka polar dan ikatan kimia antara dua fase (karet dan *phylon*) seperti yang disampaikan oleh peneliti sebelumnya (Nakason *et al.*, 2012).



Gambar 5. Tampilan bawah *outsole* sandal *outdoor* pada berbagai formulasi

Setelah dilakukan penelitian, *outsole* sandal *outdoor* berhasil dibuat dengan menggunakan penambahan limbah *phylon* pada berbagai formulasi dengan tampilan seperti pada Gambar 5. Hasil uji organoleptis menyatakan bahwa *outsole* memiliki permukaan rata dan tidak memiliki kecacatan seperti sobekan dan keretakan pada masing-masing formulasi

seperti terlihat dalam Tabel 2. Limbah *phylon* berperan sebagai bahan pensubstitusi bahan utama karet *brown crepe*. Formula A didesain dengan kandungan limbah *phylon* yang lebih sedikit dibanding karet *brown crepe*, sebaliknya formula C didesain dengan limbah *phylon* yang lebih banyak dibanding karet *brown crepe* (lihat Tabel 1). Penambahan limbah *phylon* ke dalam

kompon karet memberikan pengaruh positif secara visual. Hal ini terlihat dari hasil uji organoleptis yang menunjukkan bahwa formulasi C tidak mengalami perbedaan

(penurunan kualitas) secara visual dibanding formula A dan B yang memiliki sedikit kandungan limbah *phylon* dan formula kontrol tanpa menggunakan limbah *phylon*.

Tabel 2. Hasil uji organoleptis

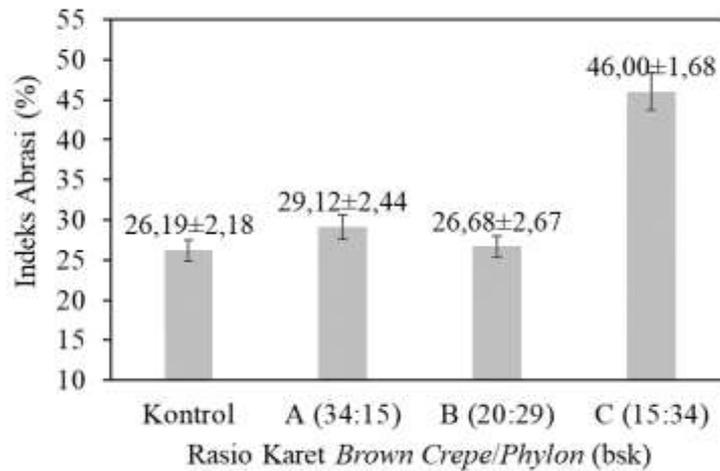
Kriteria	Formulasi			
	Kontrol	A	B	C
Permukaan rata	Ya	Ya	Ya	Ya
Sobekan	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
Keretakan	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak

Selain pengujian organoleptis, *outsole* sandal *outdoor* juga diuji secara mekanis seperti pengukuran kekerasan, indeks abrasi, dan uji ketahanan retak lentur. Pengujian indeks abrasi bertujuan untuk mengetahui ketahanan kikis dari karet yang digesekkan pada ampelas kikis (Prasetya, 2014). Karet yang memiliki ketahanan abrasi tinggi diikuti dengan nilai indeks abrasi yang tinggi juga (ISO, 2010). Sebaliknya jika indeks abrasi rendah maka produk akan mudah aus. Sedangkan pengujian kekerasan dilakukan untuk mengukur besarnya nilai kekerasan karet. Semakin besar nilai kekerasan menunjukkan bahwa karet semakin tidak elastis (Daud, 2015). Indeks abrasi material memiliki relevansi terhadap nilai kekerasannya. Material dengan nilai kekerasan yang tinggi akan memiliki sifat ketahanan abrasi yang tinggi juga (Setiyana, 2019). *Outsole* sandal *outdoor* dirancang untuk tahan abrasi ketika digunakan di berbagai permukaan jalan seperti aspal, tanah kering, dan sebagainya.

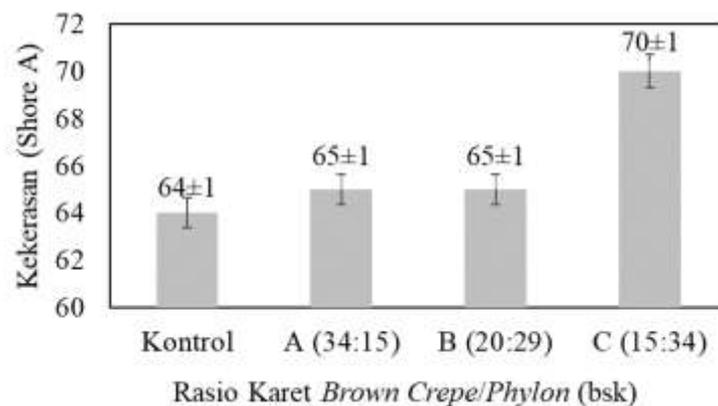
Hasil uji ketahanan abrasi kontrol dan sampel (A, B, dan C) pada Gambar 6 dan Gambar 7 menyatakan bahwa penambahan limbah *phylon* hingga 29 bsk sedikit menurunkan nilai indeks abrasi *outsole* dari 29,12% menjadi 26,68% dengan nilai kekerasan tetap 65 Shore A. Namun penurunan tersebut tidak signifikan dan bisa dikatakan relatif sama. Penurunan tersebut kemungkinan berasal dari *error* (deviasi) pengulangan pengujian. Nilai indeks abrasi dan kekerasan sampel A dan B tidak berbeda signifikan dengan kontrol (tanpa limbah *phylon*). Namun, penambahan limbah *phylon*

hingga 34 bsk dapat meningkatkan indeks abrasi *outsole* hingga 46% dengan nilai kekerasan yang juga meningkat hingga 70 Shore A. Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya bahwa kekerasan dan ketahanan abrasi komposit meningkat dengan peningkatan jumlah *phylon* yang digunakan (Paiva Junior *et al.*, 2021).

Dari literatur, penambahan *phylon* murni (80 phr) ke karet polibutadiena meningkatkan kekerasan (Maiti *et al.*, 2012). Penelitian lain menyatakan bahwa terjadi peningkatan kekerasan karet nitril (NBR) dengan penambahan limbah *phylon* (Moreira & Soares, 2002). Penambahan limbah *phylon* juga meningkatkan kekerasan karet alam dan sintetis (Lopes *et al.*, 2015). Komposit limbah *phylon* dan karet *brown crepe* pada *outsole* sandal *outdoor* menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa partikel *phylon* yang lebih keras memiliki efek yang lebih besar ketika konsentrasinya ditingkatkan. Bahan *phylon* murni memiliki kekerasan 86 Shore A (Nakason *et al.*, 2012), sedangkan karet alam memiliki kekerasan yang lebih kecil yaitu 60 Shore A (Arguello & Santos, 2016). Hal ini menyebabkan komposit *outsole* C yang kandungan *phylon*nya lebih tinggi memiliki kekerasan yang lebih tinggi juga dibandingkan komposit lainnya (A dan B) yang kandungan *phylon*nya lebih rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa limbah *phylon* memiliki beberapa efek penguatan pada matriks karet *brown crepe*, seperti halnya pada matriks karet nitril (NBR) dalam penelitian sebelumnya (Moreira & Soares, 2002).



Gambar 6. Indeks abrasi *outsole* sandal *outdoor* pada berbagai formulasi



Gambar 7. Kekerasan *outsole* sandal *outdoor* pada berbagai formulasi

Hasil pada Gambar 7 menyatakan penambahan bagian limbah *phylon* ke kompon karet menyebabkan peningkatan kekerasan *outsole* tersebut. Tingkat elastisitas karet mengalami penurunan seiring dengan kekerasan karet yang meningkat (Daud, 2015). Komposit karet alam dan *phylon* merupakan material yang lebih lembut dengan elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan *phylon* murni (Nakason *et al.*, 2012). Karet yang elastisitasnya menurun dikhawatirkan mudah mengalami keretakan, sehingga dapat menurunkan kualitas *outsole* sandal sesudah beberapa kali pemakaian. Oleh karena itu, *outsole* sandal *outdoor* diuji bengkung menggunakan mesin

retak lentur dengan perlakuan sebanyak 150 siklus/menit mengacu pada prosedur uji SNI 778:2017 (Nuraini, 2017). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan *outsole* setelah dilakukan perlakuan retak lentur sebanyak 150 siklus/menit. Berdasarkan hasil uji yang terdapat dalam Tabel 3 diketahui bahwa tidak ditemukan keretakan pada masing-masing sampel uji. Meskipun bagian limbah *phylon* dalam kompon C meningkat dan menyebabkan kekerasan *outsole* sandal juga meningkat, namun sampel *outsole* tersebut tetap memiliki performa yang baik dengan ditandai lulus uji keretakan.

Tabel 3. Hasil uji retak lentur

Formulasi	Hasil uji
Kontrol	Baik, Tidak retak
A	Baik, Tidak retak
B	Baik, Tidak retak
C	Baik, Tidak retak

### Kesimpulan

Limbah *phylon* dapat didaur ulang menjadi bahan utama untuk pembuatan outsole sandal *outdoor*. Outsole yang dihasilkan pada berbagai formulasi memiliki permukaan rata dan tidak memiliki kecacatan seperti sobekan dan keretakan. Kekerasan dan indeks abrasi outsole mengalami peningkatan seiring bertambahnya bagian limbah *phylon* dalam kompon karet. Meskipun kekerasan outsole meningkat, outsole tersebut tetap tidak retak setelah dilakukan uji retak lentur. Kompon yang menggunakan limbah *phylon* 31 phr memberikan kekerasan sebesar 70 Shore A dan indeks abrasi 46%. Outsole sandal *outdoor* yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki ketahanan abrasi yang baik sehingga diperkirakan cocok digunakan atau diproduksi massal kedepannya.

### Daftar Pustaka

- Adani, N. F. (2016). Eksplorasi Limbah Serbuk EVA (Ethylene Vinyl Acetate) Untuk Mencari Potensi Visual Universitas Telkom. *E-Proceeding of Art & Design*, 3(3), 1345–1351.
- Arguello, J. M., & Santos, A. (2016). Hardness and compression resistance of natural rubber and synthetic rubber mixtures. *Journal of Physics: Conference Series*, 687(1), 1–4. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/687/1/012088>
- Asaro, L., Gratton, M., Seghar, S., & Ait Hocine, N. (2018). Recycling of rubber wastes by devulcanization. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 250–262. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.016>
- BSN. (2017). *Sol Karet Cetak (SNI SNI 778:2017)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Çopuroglu, M., & Sen, M. (2005). A comparative study of UV aging characteristics of poly(ethylene-co-vinyl acetate) and poly(ethylene-co-vinyl acetate)/carbon black mixture. *Polymers for Advanced Technologies*, 16(1), 61–66. <https://doi.org/10.1002/pat.538>
- Daud, D. (2015). Caolin as filler substitute in rubber compounding: The effects of size and quantity towards psycho-mechanic properties. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri* 26(1). <https://doi.org/10.28959/jdpi.v26i1.701>
- Faga, M., Duraccio, D., Di Maro, M., Pedraza, R., Bartoli, M., d’Ayala, G., Torsello, D., Ghigo, G., & Malucelli, G. (2022). Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) Containing Waste Hemp-Derived Biochar Fibers: Mechanical, Electrical, Thermal and Tribological Behavior. *Polymers*, 14(19), 4171. <https://doi.org/10.3390/polym14194171>
- ISO. (2010). Rubber, vulcanized or thermoplastic *Determination of abrasion resistance using a rotating cylindrical drum device (Version Third)* [Standard]. International Organization for Standardization.
- Jofre-Reche, J. A., & Martín-Martínez, J. M. (2013). Selective surface modification of ethylene-vinyl acetate and ethylene polymer blend by UV–ozone treatment. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 43, 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2013.01.010>

- Júnior, C. Z. P., Mendonca, A. V., Fim, F. C., & Silva, L. B. (2022). Recycling EVA Waste: An Opportunity for the Footwear Industry- Rheological Properties of EVA Waste Composites Using Torque Rheometry. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(5), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02332-x>
- Lopes, D., Ferreira, M. J., Russo, R., & Dias, J. M. (2015). Natural and synthetic rubber/waste – Ethylene-Vinyl Acetate composites for sustainable application in the footwear industry. *Journal of Cleaner Production*, 92, 230–236. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.063>
- Maiti, M., Jasra, R. V., Kusum, S. K., & Chaki, T. K. (2012). Microcellular foam from ethylene vinyl acetate/polybutadiene rubber (EVA/BR) based thermoplastic elastomers for footwear applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(32), 10607–10612. <https://doi.org/10.1021/ie300396m>
- Mészáros, L., Tábi, T., Kovács, J. G., & Bárány, T. (2008). The effect of EVA content on the processing parameters and the mechanical properties of LDPE/ground tire rubber blends. *Polymer Engineering & Science*, 48(5), 868–874. <https://doi.org/10.1002/pen.21022>
- Moreira, V. X., & Soares, B. G. (2002). Study of utilization of ground EVA waste as filler in NBR vulcanizates. *Polymers and Polymer Composites*, 10(5), 381–390. <https://doi.org/10.1177/096739110201000505>
- Nakason, C., Kaewsakul, W., & Kaesaman, A. (2012). Thermoplastic natural rubbers based on blending of ethylene-vinyl acetate copolymer with different types of natural rubber. *Journal of Elastomers & Plastics*, 44(1), 89–111. <https://doi.org/10.1177/0095244311413441>
- Nuraini, E. (2017). Sifat termal dan ketahanan bengkok material sol sepatu pantofel laki-laki dewasa. *PROSIDING SENTRINOV, TAHUN2017*, 3, 150–158.
- Nurhajati, D. W., Lestari, U. R., & Priambodo, G. (2021). Characterization of ethylene–vinyl acetate (EVA)/modified starch expanded compounds for outsole material. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 37(1), 41–50. <https://doi.org/10.20543/mkkp.v37i1.6916>
- Paiva Junior, C. Z., Peruchi, R. S., Fim, F. D. C., Soares, W. D. O. S., & Da Silva, L. B. (2021). Performance of ethylene vinyl acetate waste (EVA-w) when incorporated into expanded EVA foam for footwear. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.12.8352>
- Posadas, P., Fernández-Torres, A., Chamorro, C., Mora-Barrantes, I., Rodríguez, A., González, L., & Valentín, J. L. (2013). Study on peroxide vulcanization thermodynamics of ethylene–vinyl acetate copolymer rubber using 2,2,6,6,-tetramethylpiperidinyloxy nitroxide. *Polymer International*, 62(6), 909–918. <https://doi.org/10.1002/pi.4376>
- Prasetya, H. A. (2014). Penentuan umur simpan kompon karet pegangan setang kendaraan bermotor dengan bahan pengisi abu sekam padi. *Jurnal Riset Industri*, 8(1), 147–157. <http://ejournal.kemenperin.go.id/jriXX/article/view/149>
- Pyo, K., Choi, J., Lee, J., & Park, C. (2013). Improvement of frictional property of BR/CIIR composite rubber for shoes outsole. *Polymer Korea*, 37(3), 255–261. <https://doi.org/10.7317/pk.2013.37.3.255>
- Roberto, P., Lima, L., Leite, M. B., Quinteiro, E., & Santiago, R. (2010). Recycled Lightweight Concrete Made From Footwear Industry Waste and CDW. *Waste Management*, 30(6), 1107–1113. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.007>
- Setiyana, B. (2019). Identifikasi sifat tribologi dari karet vulkanisir dengan menggunakan metode uji pin on disc. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 41–46. <https://doi.org/10.36499/psnst.v1i1.2818>

Suciati, A. (2016). Eksplorasi Limbah EVA Industri Sepatu (Potensi Visual) ( Studi Kasus: Industri Sepatu di Daerah Bandung, Jawa Barat ). *E-Proceeding of Art & Design*, 3(3), 1426–1432.

Wu, W., Narayana Kurup, S., Ellingford, C., Li, J., & Wan, C. (2020). Coupling dynamic covalent bonds and ionic crosslinking network to promote shape memory properties of ethylene-vinyl acetate copolymers. *Polymers*, 12(4), 1–13. <https://doi.org/10.3390/polym12040983>



PUSAT PENELITIAN KARET