



Mini Review: Potensi Limbah Ban Menjadi Bahan dan Produk yang Berguna

Mini Review: Potential of Scrap Tires for Useful Material and Products

Muhammad Latifur Rochman^{1*}, Muji Setiyo^{1,2}

¹Laboratorium Otomotif Universitas Muhammadiyah Magelang
Jl. Bambang Sugeng km.05 Mertoyudan Magelang

²Program Studi Mesin Otomotif Universitas Muhammadiyah Magelang
Jl. Bambang Sugeng km.05 Mertoyudan Magelang

[doi.10.21063/JTM.2019.v9i1.28-34](https://doi.org/10.21063/JTM.2019.v9i1.28-34)

*Correspondence should be addressed to latifur229@gmail.com

Copyright © 2019 M. L. Rochman. This is an open access article distributed under the [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Article Information

Submitted :
March 12, 2019

Accepted :
April 23, 2019

Published :
April 30, 2019

Abstract

One of the effects of increasing the number of vehicles is the presence of scrap tires. Stacking and burial of scrap tires have caused serious problems for the environment. Therefore, this article presents a brief review of the potential of scrap tires to be useful materials and products. Of the many potential uses, we find at least three ways to use the scrap tires, which are: converted to rubber powder to be reprocessed as asphalt mixture, concrete mixtures, composite mixes, fillers, and the like; converted to liquid oil through the pyrolysis process; and recycled forms, where the original physical properties of used tires are still visible, such as for furniture, wave breakers, racing circuit safety, and the like.

Keywords: *scrap tires, rubber powder, pyrolysis, useful material, product*

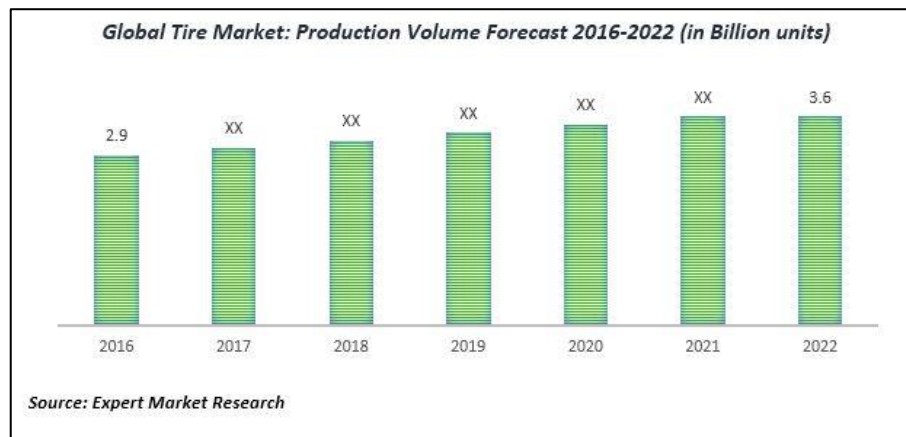
1. Pendahuluan

Dalam dekade terakhir, permintaan ban di seluruh dunia meningkat seiring dengan pertumbuhan produksi kendaraan. Pada tahun 2018, permintaan global ban mencapai hampir 3112 juta unit, tumbuh 4,4% (CAGR) antara 2014 dan 2018. Kemudian, pada tahun 2019-2024 juga diperkirakan akan tumbuh pada sebesar 4% dengan volume yang mencapai 4014 juta unit pada tahun 2024 (**Gambar 1**). Pada tahun 2017, Cina menguasai hampir 49% industri ban pada skala global, diikuti oleh Eropa, Amerika Serikat, India, dan Jepang yang merupakan produsen ban yang signifikan di dunia.

Saat ini, banyak jenis ban yang tersedia di pasaran yang meliputi ban berperforma tinggi, ban lumpur, ban all-season, ban all-terrain, ban trailer ringan, ban run-flat, ban off the road, dan

sebagainya. Meningkatnya permintaan untuk ban performa tinggi, ban dengan tahanan rolling rendah, dan ban ramah lingkungan dengan penghematan bahan bakar yang lebih baik juga telah merangsang pertumbuhan pasar ban. Selain itu, urbanisasi, peningkatan populasi, peningkatan pendapatan, perubahan gaya hidup di negara berkembang juga menjadi faktor lain yang mempengaruhi pertumbuhan pasar [1].

Di satu sisi pertumbuhan produksi ban ini mengindikasikan sinyal ekonomi yang baik, di sisi lain juga menimbulkan masalah lingkungan. Dari total berat ban, hanya sebagian kecil volume saja yang digunakan untuk berkendara (terpakai karena gesekan permukaan ban dengan permukaan jalan yang kemudian terjadi keausan) dan sisanya adalah limbah karet dan material-material tambahannya.



Gambar 1. Pertumbuhan penjualan ban skala global

Sebagai contoh, puluhan juta ban setiap tahun dibuang di Timur Tengah. Pembuangan limbah sangat berbahaya karena tidak dapat terurai secara hayati. Metode tradisional dengan menimbun dan membuang secara ilegal hanyalah solusi jangka pendek [2]. Contoh lain, di Amerika Serikat, ada limbah ban sekitar 246 juta unit per tahun. Yang mengejutkan, 246 juta tersebut belum memperhitungkan sekitar 10% yang tidak lulus standar manufaktur dan keselamatan yang ketat. Ban yang gagal ini biasanya digolongkan sebagai limbah industri, bukan limbah ban dan harus dibuang setiap tahun. Saat ini, ada 3 cara populer untuk

mengatasi masalah limbah ban tersebut, melalui pembakaran (termasuk konversi *Tire Derived Fuel*, TDF), penguburan, dan penghancuran (*grinding*) [3].

Jika tidak dikelola dengan baik, timbunan ban bekas dapat menghadirkan ancaman kebakaran yang signifikan dan air yang terperangkap menyediakan tempat berkembang biak bagi nyamuk, yang dapat menularkan penyakit (**Gambar 2**). Selain itu, penumpukan ban bekas pada skala besar juga menimbulkan tertutupnya permukaan lahan, yang mengurangi potensi tersedianya lahan terbuka hijau, sebagaimana diilustrasikan dalam **Gambar 3** [4].



Gambar 2. Genangan air pada ban bekas sebagai sarang nyamuk [5]



Gambar 3. Tertutupnya lahan akibat tumpukan ban bekas [6]

Artikel dalam Wikipedia tentang *Tire Recycling* [7], setidaknya ada 4 metode pemanfaatan ban bekas yang menjadi trend pengolahan ban bekas di dunia, yaitu sebagai bahan bakar alternatif dalam industri semen [8], dijadikan produk turunan [9], [10], pirolisis ban [11], dan daur ulang menjadi produk kesenian, ayunan, perabot, dan sejenisnya [12]. Bagaimana dengan trend riset pengolahan ban bekas di Indonesia? Dari penelusuran literatur, sampai dengan tahun 2019 ini kami belum

menemukan sebuah roadmap khusus tentang pengelolaan ban bekas yang dikeluarkan oleh lembaga resmi Pemerintah. Oleh karena itu, artikel ini menyajikan sebuah mini review terhadap pemanfaatan ban bekas di Indonesia yang mengkaji potensi limbah menjadi material dan produk yang bermanfaat.

2. Hasil dan Pembahasan

Dalam studi ini, kami mengumpulkan data dari google scholar dengan kata kunci “ban bekas”

dengan rentang pencarian dari 2009 sampai 2019. Dari data yang ada, kami tidak menyertakan paten dan kutipan. Artikel yang terkumpul kemudian diklasifikasikan berdasarkan jenis

pemanfaatan ban bekas. Dari pencarian tersebut, kami mendapatkan 45 artikel yang dikategorikan dalam **Tabel 1** sebagai berikut.

Tabel 1. Klasifikasi pemanfaatan ban bekas

Klasifikasi pemanfaatan	Referensi	Jumlah	%
Campuran aspal	[13]–[30]	18	40%
Campuran beton	[31]–[36]	6	13%
<i>Tire Derived Fuel</i> (TDF)	[37]–[40]	4	9%
Alat peraga pendidikan	[41]–[43]	3	7%
Filler	[44]–[46]	3	7%
Alat Pemecah Ombak (APO)	[47] [48]	2	4%
Campuran batako	[49], [50]	2	4%
Bahan pelunak vulkanisat	[51]	1	2%
Campuran komposit	[52]	1	2%
Geogrid	[53]	1	2%
Perabot	[54]	1	2%
Karbon aktif	[55]	1	2%
Ubin komposit	[56]	1	2%
Pendukung terumbu karang	[57]	1	2%
Jumlah		45	100%

Dari **Tabel 1**, diperoleh informasi bahwa ban bekas memiliki potensi untuk dikonversi menjadi material dan produk berguna. Sebagian besar pemanfaatan ban bekas adalah untuk campuran aspal (40%) yang diikuti untuk campuran beton (13%), pirolisis untuk mendapatkan minyak (*Tire Derived Fuel*, TDF) (9%), alat peraga pendidikan dan filler masing masing 7%, alat pemecah ombak dan campuran batako masing-masing 4%, dan untuk pemanfaatan yang lain dalam jumlah yang lebih sedikit.

Namun demikian, secara garis besar, pemanfaatan ban bekas di Indonesia melibatkan

dua proses utama, yaitu melalui pengolahan secara fisika atau kimia dan tanpa melalui pengolahan secara fisika atau kimia. Pemanfaatan melalui pengolahan secara fisika atau kimia seperti pada penggunaan untuk campuran aspal, campuran beton, filler, komposit, dan pirolisis untuk mendapatkan minyak cair. Sementara itu pemanfaatan tanpa pengolahan secara fisika atau kimia seperti pada alat pemecah ombak, alat peraga pendidikan, perabot, dan peralatan pendukung penambatan terumbu karang. Ilustrasi pemanfaatan ban bekas disajikan dalam **Gambar 4** sebagai berikut.



Gambar 4. Pemanfaatan ban bekas: (a). dibuat butiran untuk campuran aspal dan beton, (b) pirolisis untuk menghasilkan minyak, dan (c) daur ulang alih manfaat

Pemanfaatan ban bekas sebagai campuran aspal, beton, komposit, filler dan pengolahan menjadi minyak, selain dapat mengatasi limbah juga berpeluang untuk menciptakan industri baru dan perputaran ekonomi baru, termasuk industri-industri lanjutannya. Sementara itu,

pemanfaatan tanpa melalui pengolahan secara fisika atau kimia hanya bersifat daur ulang alih manfaat, dimana sifat-sifat fisik asli dari ban bekas masih terlihat, seperti pada perabot dan alat pemecah ombak.

Meskipun industri pengolahan ban bekas menjadi produk berguna semakin efisien dari waktu ke waktu, namun yang lebih penting untuk keberlanjutan adalah bagaimana para produsen ban dapat mengembangkan ban dari material yang ramah lingkungan serta penjagaan kualitas produksi untuk meminimalisir cacat produksi. Produsen ban seperti Continental, Michelin, dan Goodyear sedang mencari pengganti karet alam, sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan. Tanaman Dandelion dan Guayule Rusia telah ditemukan, yang memiliki kualitas yang sama dengan karet alam. Tanaman ini dapat ditanam di Eropa dan Amerika Serikat sebagai bahan baku yang berkelanjutan dan dapat dipanen dengan biaya lebih efektif daripada pohon karet. Eksperimen oleh Goodyear menunjukkan bahwa minyak kedelai juga memiliki potensi besar sebagai bahan alami untuk ban, yang meningkatkan umur tapak sebesar 10% dan mengurangi penggunaan minyak bumi hingga 8,5 juta galon per tahun karena tahanan rolling yang lebih baik [58].

3. Simpulan

Melalui mini review ini, kami menemukan bahwa potensi pemanfaatan ban bekas untuk menjadi material dan produk berguna setidaknya dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu (1) dikonversi menjadi serbuk untuk diolah kembali sebagai campuran aspal, campuran beton, campuran komposit, filler, dan sejenisnya; (2) dikonversikan menjadi minyak cair melalui proses pirolisis atau yang dikenal dengan istilah *Tire Derived Fuel* (TDF); dan (3) daur ulang alih manfaat, dimana sifat-sifat fisik asli dari ban bekas masih terlihat, seperti untuk perabot, alat pemecah ombak, pengaman sirkuit balap, dan sejenisnya.

Pengolahan ban bekas juga telah terbukti menciptakan siklus ekonomi baru, namun sayangnya, proses pengolahan tersebut juga melibatkan proses pembakaran baik secara langsung maupun tidak langsung, yang berarti menambah potensi efek rumah kaca. Oleh karena itu, untuk keberlanjutan lingkungan, pengembangan teknologi ban dengan material yang ramah lingkungan adalah lebih penting.

Referensi

- [1] Expert Market Research, “Global Tire Market to Reach 3.8 Billion units by 2024,” 2019. [Online]. Available: <https://www.expertmarketresearch.com/pressrelease/global-tire-market>. [Accessed: 06-Apr-2019].
- [2] S. Zafar, “Disposal of Waste Tires,” *EcoMENA*, 2019. [Online]. Available: <https://www.ecomena.org/methods-for-tire-recycling/>. [Accessed: 06-Apr-2019].
- [3] PRTI, “The Waste Tire Problem.” [Online]. Available: <http://www.prtitech.com/the-waste-tire-problem/>. [Accessed: 06-Apr-2019].
- [4] M. Nehdi and A. Khan, “Cementitious Composites Containing Recycled Tire Rubber: An Overview of Engineering Properties and Potential Applications,” *Cement, Concrete, and Aggregates*, vol. 23, no. 1, pp. 3–10, 2001.
- [5] Tire and Rubber Recycling, “Scrap Tires and West Nile Virus,” 2013.
- [6] T. Leather, “Seas of Rubber: The Truth About Tire Recycling,” *Recycle Nation*, 2010. [Online]. Available: <https://recyclenation.com/2010/06/sea-rubber-truth-tire-recycling/>. [Accessed: 06-Apr-2019].
- [7] Wikipedia, “Tire Recycling,” 2019. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Tire_recycling. [Accessed: 06-Apr-2019].
- [8] N. Chatziaras and C. S. Psomopoulos, “Use of waste derived fuels in cement industry: a review,” *Management of Environmental Quality: An International Journal*, vol. 27, no. 2, pp. 178–193, 2016.
- [9] CRC Association, “‘Green steel’ from old rubber tyres produces no waste or toxic fumes,” 2012. [Online]. Available: <https://crca.asn.au/green-steel-from-old-rubber-tyres-produces-no-waste-or-toxic-fumes/>. [Accessed: 06-Apr-2019].
- [10] S. Bandyopadhyay *et al.*, “An Overview of Rubber Recycling,” *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, vol. 24, no. 2, 2008.
- [11] EPA, “Burning Tires for Fuel and Tire Pyrolysis: Air Implications,” Washington DC, 1991.
- [12] M. L. Kathomi, “From waste to product; recycling waste tyres to save the environment,” University of Nairobi, 2013.
- [13] G. Sugiyanto, “Kajian Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 91–

- 104, 2008.
- [14] A. H. Ritonga, “Karakteristik Aspal Polimer dari Limbah Polistirena Dan Serbuk Karet Ban Bekas Menggunakan Divenil Benzena dan Inisator Dikumil Peroksida,” *AKADEMIA*, vol. 21, no. 2, pp. 7–14, 2017.
- [15] A. H. Ritonga, “Modifikasi aspal polimer memanfaatkan karet ban bekas menggunakan divenil benzena dan dikumul peroksida melalui proses ekstrusi,” *Jurnal Kimia Saintek dan Pendidikan*, vol. 1, no. 1, pp. 8–13, 2017.
- [16] M. I. Faisal, Sofyan M. Shaleh, “Karakteristik marshall campuran aspal betonac-bc menggunakan material agregat basalt dengan aspal pen. 60/70 dan tambahan parutan ban dalam bekas kendaraan roda 4,” *Jurnal Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Syiah Kuala 11*, vol. 3, no. 3, pp. 38–48, 2014.
- [17] E. W. Indriyati and H. A. Susanto, “Kajian Sifat-Sifat Reologi Aspal dengan Penambahan Limbah Ban Bekas,” *Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jenderal Soedirman*, vol. 11, no. 1, pp. 24–28, 2015.
- [18] A. H. Ritonga, “Pembuatan Aspal Polimer Menggunakan Karet SIR-20 Yang Diinisiasi Oleh Adanya Dikumil Peroksida Melalui Proses Ekstrusi,” *JURNAL STIKNA Jurnal Sains, Teknologi, Farmasi & Kesehatan*, vol. 1, no. 2, pp. 123–130, 2017.
- [19] Fakhrul Rozi Yamali, “Pengaruh Penambahan ‘Limbah Karet Ban Luar’ Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Kelas B,” *Jurnal Civronlit Universitas Batanghari*, vol. 2, no. 2, pp. 54–63, 2017.
- [20] Mashuri and J. F. Batti, “Pemanfaatan Material Limbah Pada Campuran Beton Aspal Campuran Panas,” *MEKTEK*, vol. 8, no. 3, pp. 204–212, 2011.
- [21] E. W. Indriyati, “Kajian perbandingan penggunaan aspal modifikasi as- buton dan asphalt rubber (AR) untuk infrastruktur jalan,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 14, no. 2, pp. 94–100, 2017.
- [22] S. Mulyani and D. Hamdani, “Teknik Pencampuran Yang Optimal Antara Crumb Rubber Dan Aspal Pen 60/70 (Optimal Mixing Technique of Crumb Rubber and 60/70 Pen Asphalt),” *Jurnal Jalan-Jembatan*, vol. 34, no. 1, pp. 8–19, 2017.
- [23] M. Sjahdanulirwan and A. T. Dachlan, “Jalan Beton Aspal, Beton Semen, Dan Beton Karet (Study of Skid Resistance on Asphalt Concrete, Cement Concrete, and Rubberized Concrete Road Pavement,” *Jurnal Jalan Jembatan*, vol. 30, no. 3, pp. 152–163, 2013.
- [24] R. R. Tarigan and L. V. R. Saragih, “Pemanfaatan abu vulkanik gunung sinabung sebagai filler dan serbuk ban bekas sebagai bahan pengganti aspal pen 60/70 pada campuran panas AC-WC,” *JUITECH (Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2017.
- [25] G. P. D. Erna Frida, “Analisis kekuatan asphalt concrete wearing course (AC-WC) dengan serbuk ban bekas sebagai zat aditif,” *JUITECH (Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality)*, vol. 66, no. 17, pp. 38–48, 2017.
- [26] Y. Wuisan, K. R. Gotama, P. S. Wulandari, and H. Patmadjaja, “Pengaruh ukuran serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus pada campuran aspal emulsi dingin dengan filler fly ash tipe-C,” *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 304–311, 2018.
- [27] D. N. Anggraeni and D. A. Tanjung, “Efektivitas benzoil peroksida sebagai inisiator pada reaksi antara aspal dengan polimer yang memanfaatkan limbah plastik polipropilena dan karet ban,” in *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2018*, 2018, pp. 17–22.
- [28] S. Hardwiyono, “Pengaruh Penambahan Parutan Karet Ban Gradasi Tipe 2 Terhadap Parameter Marshall Pada Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course,” *JURNAL ILMIAH SEMESTA TEKNIKA*, vol. 15, no. 2, pp. 149–158, 2012.
- [29] D. A. Tanjung and D. N. Anggraeni, “Pengaruh benzoil peroksida sebagai inisiator karet ban melalui metode interpenetrasi jaringan polimer (IJP),” *Jurnal Kimia Saintek dan Pendidikan*, vol. II, no. 2, pp. 51–59, 2018.
- [30] P. I. Blima Oktaviastuti, Handika Setya Wijaya, “Pengaruh penambahan serbuk

- ban bekas untuk bahan tambah campuran ATB (asphalt treated base),” *Jurnal Reka Buana*, vol. 3, no. 1, 2017.
- [31] Nastain and A. Maryoto, “Pemanfaatan Pemotongan Ban Bekas Untuk Campuran Beton Beton Serat Perkerasan Kaku,” *Dinamika Rekayasa*, vol. 6, no. 1, pp. 14–18, 2010.
- [32] A. Maryoto, “Studi Komparasi Antara Angkur dari Baja dan Kayu Untuk Prategang Pada Beton Bertulangan Limbah Ban,” *Dinamika Rekayasa*, vol. 11, no. 2, pp. 76–79, 2015.
- [33] A. Budiarto and A. Purwanto, “Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri Pemanfaatan serutan karet ban bekas sebagai substitusi pasir silika pada CLC (Cellular Lightweight Concrete),” *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, vol. 7, no. 1, pp. 23–30, 2016.
- [34] M. A. Najib and Nadia, “Beton Normal Dengan Menggunakan Ban Bekas Sebagai Pengganti Agregat Kasar,” *Konstruksia*, vol. 6, no. 1, pp. 95–102, 2014.
- [35] S. I. Yansiku, “Strength Behaviour of Concrete Containing Glass and Tyre Rubber Particles as Replacement of Natural Sand,” *JURNAL TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2017.
- [36] I. Niam, I. Yasin, and D. Sulistyorini, “Studi Kuat Lentur Balok Beton Menggunakan Material Daur Ulang Ban Bekas Pengganti Agregat Kasar,” *RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil*, vol. 3, no. 2, pp. 33–43, 2018.
- [37] A. F. Falaah and A. Cifriadi, “Pemanfaatan Limbah Ban Bekas Dengan Menggunakan Teknologi Pirolisis,” *Warta Perkeratan*, vol. 31, no. 2, pp. 103–107, 2012.
- [38] H. Mahmudi and L. F. Mukaromah, “Pengaruh temperatur terhadap hasil proses pirolisis pada ban bekas pakai,” *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 1, no. 1, pp. 19–26, 2018.
- [39] W. Trisunaryanti *et al.*, “Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis Mordenit dan Zeolit-Y Pada Hidrorengkah Ban Bekas menjadi Fraksi Bahan Bakar,” in *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa 2012 – ISBN: 978-979-028-550-7*, 2012, p. c-102-c-113.
- [40] Supriyanto, Ismanto, and N. Suwito, “Zeolit Alam Sebagai Katalis Pirolisis Limbah Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair,” *Automotive Experiences*, vol. 2, no. 1, pp. 15–21, 2019.
- [41] A. Widiyatmoko and S. D. Pamelasari, “Pembelajaran berbasis proyek untuk mengembangkan ALAT peraga IPA dengan memanfaatkan bahan bekas pakai,” *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, vol. 1, no. 1, pp. 51–56, 2012.
- [42] B. Azis, D. Asikin, and T. Laksmiwati, “Interior ruang kelas dan bengkel kerja dengan pemanfaatan barang bekas otomotif di smk kota malang,” *Jurnal Mahasiswa Jurusan Arsitektur*, vol. 3, no. 1, 2015.
- [43] U. Hariyani, “Peningkatan pembelajaran lompat jauh melalui media ban di sekolah dasar gedong kiwo V,” *Jurnal Pendidikan Jasmani Indonesia*, vol. 8, no. 1, pp. 24–30, 2011.
- [44] B. F. Bukit, E. M. Ginting, N. Bukit, and F. Yulida, “Analisis termoplastik elastomer dengan filler serbuk ban bekas,” *JUITECH (Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality)*, vol. 2, no. 1, pp. 29–34, 2018.
- [45] E. Frida, “The effect of size and crumb rubber composition as a filler with compatibilizer PP-g-MA in polypropylene blends and sir-20 compound on mechanical and thermal properties,” *MAKARA Journal of Technology Series*, vol. 16, no. 2, pp. 171–179, 2013.
- [46] O. Tumanggor S, A. Dharma S, and E. Marlianto, “Karet Lembaran Yang Terbuat Dari Campuran Serbuk Ban Bekas Dan Karet Alam Yang Disetarakan Dengan Sir-20 Untuk Pembuatan Sol Sepatu Olah Raga,” *Jurnal Ikatan Alumni Fisika*, vol. 2, no. 1, pp. 16–19, 2016.
- [47] R. Hartati, R. Pribadi, R. W. Astuti, R. Yesiana, and I. Y. H, “Kajian Pengamanan Dan Perlindungan Pantai Di Wilayah Pesisir Kecamatan Tugu Dan Genuk, Kota Semarang,” *Jurnal Kelautan Tropis*, vol. 19, no. 2, pp. 95–100, 2018.
- [48] R. Yesiana, I. Y. Hidayati, and G. Wicaksono, “Penguatan Ekosistem

- Pesisir: Monitoring dan Pembelajaran Pembangunan Alat Pemecah Ombak (APO) di Kota Semarang,” *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, vol. 4, no. 3, pp. 199–212, 2016.
- [49] Nastain dan Agus Maryoto, “Tingkat Ketahanan Api Batako Ban Bekas untuk Material Dinding Bangunan,” *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 25, no. 2, pp. 167–172, 2018.
- [50] R. R. Putra, “Modulus elastisitas batako dengan penambahan material karet dari ban bekas untuk dinding bangunan ramah gempa,” *Journal of Civil Engineering and Vocational Education*, vol. 4, no. 2, pp. 1998–2002, 2016.
- [51] A. F. Falaah, A. Cifriadi, and D. R. Maspanger, “Pemanfaatan Hasil Pirolisis Limbah Ban Bekas Sebagai Bahan Pelunak Untuk Pembuatan Barang Jadi Karet,” *Jurnal Penelitian Karet*, vol. 31, no. 2, pp. 149–158, 2013.
- [52] N. Bukit and E. Frida, “Pengolahan ban bekas berwawasan lingkungan menjadi bahan bumper pada outomotif,” *Jurnal Teknologi Indonesia*, vol. 34, pp. 123–131, 2011.
- [53] Sumiyanto, A. Apriyono, and B. Mulyono, “Efektifitas geogrid karet ban bekas untuk perkuatan tanah dasar jalan raya pada perubahan muka air tanah,” in *Prosiding Seminar Nasional dan Call Paper "Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan*, 2017, vol. VII, no. November, pp. 227–233.
- [54] S. D. R. Damanhuri, Muhammad Nurtanto, Soffan Nurhaji, “Pemberdayaan ekonomi kreatif karang taruna melalui kerajinan dari limbah ban bekas (upcycling),” *Jurnal Widya Laksana*, vol. 6, no. 2, pp. 90–99, 2017.
- [55] A. Prasetyo, A. Yudi, and R. N. Astuti, “Adsorpsi Metilen Blue Pada Karbon Aktif Dari Ban Bekas Dengan Variasi Konsentrasi NaCl Pada Suhu Pengaktifan 600°C Dan 650°C,” *Nutrino*, vol. 4, no. 1, pp. 16–23, 2011.
- [56] A. Rohmad, H. Sukanto, and W. W. Raharjo, “Karakterisasi Produk Ubin Berbahan Dasar Plastik Pp Dan Karet Ban Bekas Dengan Metode Pressured Sintering,” *Mekanika*, vol. 11, no. 2, pp. 123–129, 2013.
- [57] I. E. Setiawan, “Penerapan teknologi terumbu buatan di perairan laut pulau abang, batam,” *Jurnal Hidrosfir Indonesia*, vol. 4, no. 2, 2009.
- [58] TireBuyer, “The three Rs of eco-friendly tires: Raw materials, rolling resistance and recycling,” *Eco-Friendly Tires and Green Tires*. [Online]. Available: <https://www.tirebuyer.com/education/eco-friendly-tire-technology-old>. [Accessed: 06-Apr-2019].