



## The Utilization of Medical Mask Waste as a High-Quality Nanofiber Material: a Review

Shelly Victory, Restani Eka Putri, Shania Sakhila, Soluna Desbait Hutagalung, Addela Amelia, Verry Andre Fabiani<sup>1✉</sup>

Jurusan Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung  
Balunijuk, Merawang, Kabupaten Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, 33172, Indonesia

### Info Artikel

Diterima Agustus 2021

Disetujui Agustus 2021

Dipublikasikan September 2021

#### Keywords:

Fabrikasi

Nanofiber

Polypropylene

### Abstrak

Limbah masker medis merupakan bagian dari *covid waste* yang dapat mengancam keberlanjutan makhluk hidup dan lingkungan karena bersifat patogen dan sangat sulit terurai. Terlebih lagi, pengelolaan limbah masker medis belum bisa dilakukan secara efektif dikarenakan keterbatasan alat dan sumber daya. *Review* ini dibuat untuk mengkaji potensi limbah masker medis sebagai bahan baku pembuatan *nanofiber*. Penulisan *review* dilakukan dengan metode studi pustaka. Terdapat beberapa langkah penting dalam pembuatan nanofiber dari *polypropylene* pada limbah masker medis yaitu *pre-treatment*, pembuatan larutan *polypropylene*, fabrikasi *nanofiber*, dan karakterisasi. Penghilangan kontaminan pada limbah masker medis dapat dilakukan dengan bahan kimia, *dry heat*, hingga paparan sinar ultraviolet C. Jenis pelarut memegang peranan penting dalam menghasilkan larutan *polypropylene* yang siap difabrikasi. Pada skala industri, *electrospinning* merupakan metode yang paling sering digunakan dalam fabrikasi nanofiber. Karakterisasi diameter serat *nanofiber* dan ukuran pori dilakukan dengan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM), kristalinitas material melalui uji *X-ray Diffraction* (XRD), dan *thermogravimetric analysis* (TGA) untuk mengukur stabilitas termal material.

### Abstract

Medical mask waste is part of the covid waste that can threaten the living creatures and environment since it was pathogenic and indestructible. Moreover, the waste management of medical mask waste is still ineffective due to the limit of technology and resource. The purpose of this review is to learn the potency of medical mask waste as the main component of nanofiber fabrication. This review is using the literature review method. There are some fundamental stages for creating nanofiber from polypropylene of medical mask waste, such as pre-treatment, making polypropylene solution, fabrication, and characterization. Removal of medical mask waste contaminants can be using a chemical solvent, dry heat, or exposure to ultraviolet C. Type of solvent plays a principal role in producing polypropylene solvent that is ready to fabricate. On the industrial scale, electrospinning is a commonly used method for nanofiber fabrication. The characterization of the fiber and pore size can be analyzed with scanning electron microscope (SEM) analysis, material crystallinity using x-ray diffraction (XRD) spectroscopy, and thermogravimetric analysis (TGA) measuring the thermal stability of nanofiber.

✉ Alamat korespondensi:

Balunijuk, Merawang, Kabupaten Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, 33172

E-mail: [verry-andre@ubb.ac.id](mailto:verry-andre@ubb.ac.id)

## Pendahuluan

Limbah masker medis merupakan salah satu jenis limbah infeksius yang mengandung sejumlah patogen seperti virus, parasit, fungi, atau bakteri yang pada konsentrasi tertentu dapat menyebabkan wabah pada inang yang mudah terinfeksi (Pieper *et al.*, 2017). Masker medis memiliki bahan dasar *polypropylene*, salah satu jenis mikroplastik dengan sifat sulit terurai. Bahan utama inilah yang membuat limbah masker sering ditemukan dalam keadaan utuh sehingga bersifat sebagai polutan lingkungan. *Polypropylene* merupakan mikroplastik yang menjadi penyebab utama terjadinya bioamplifikasi dan bioakumulasi pada kontaminan kimia dikarenakan rasio luas permukaan terhadap volumenya yang sangat tinggi (da Costa *et al.*, 2016). Dibandingkan dengan jenis mikroplastik lainnya, *polypropylene* memiliki massa jenis yang paling ringan yaitu 0,85 - 0,83. Hal ini menyebabkan di dalam laut, *polypropylene* cenderung mengapung sehingga lebih mudah untuk dimakan oleh ikan dan mikroorganisme lainnya yang hidup di dalam laut. Wright *et al.*, (2013) mengungkapkan bahwa mikroplastik yang secara tidak sengaja dikonsumsi oleh makhluk hidup di laut dapat menyebabkan berbagai permasalahan, antara lain kegagalan reproduksi, penurunan kadar hormon steroid, penundaan ovulasi, hingga penyumbatan saluran usus. WHO menetapkan bahwa polusi mikroplastik pada ekosistem akuatik merupakan permasalahan global yang mendesak dan harus segera diatasi. Pengurangan emisi mikroplastik harus dilakukan dengan upaya penelitian untuk menemukan solusi yang efektif dan berkelanjutan (Wang *et al.*, 2020).

Sejauh ini, pengelolaan limbah masker medis paling ideal adalah dengan melakukan pembakaran pada suhu tinggi (insinerasi) dalam rentang suhu 850-1100 °C dalam 3 menit hingga 1 jam dengan metode pirolisis. Hal ini bertujuan untuk menghancurkan virus yang menempel dan mikroplastik yang terkandung pada masker (Di Maria *et al.*, 2020). Akan tetapi, cara ini tidak dapat diterapkan secara luas karena memerlukan teknologi khusus dan lahan terbuka yang luas. Terlebih lagi, kandungan dioksin dan furan yang dihasilkan selama pembakaran dapat membahayakan kesehatan makhluk hidup dan keberlanjutan lingkungan (Hong *et al.*, 2017). Salah satu upaya alternatif penanganan limbah masker medis yaitu dengan merekayasa komposisi kimia masker yaitu *polypropylene* menjadi material fungsional yang berguna salah satunya *nanofiber*.

*Polypropylene* sering digunakan sebagai bahan baku *nanofiber* karena menghasilkan material dengan kekuatan tarik (*tensile strength*) yang luar biasa (Zhang *et al.*, 2019). *Nanofiber* menarik perhatian yang sangat tinggi dikarenakan sifatnya yang luar biasa dan lebih unggul dibanding karakteristik material *fiber* lainnya. Material ini memiliki massa sangat ringan, struktur pori cenderung homogen, dan rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat tinggi. Meskipun termasuk material yang belum terlalu lama dikembangkan, pengaplikasian *nanofiber* pada bidang industri sangat luas dan beragam yaitu sebagai sensor, alat pelindung diri, penyimpan energi, dan rekayasa jaringan. Teknik pembuatan dan bahan baku *nanofiber* yang terus berkembang memungkinkan material ini untuk dapat digunakan pada bidang yang lebih luas lagi (Cai *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2014). *Nanofiber* telah dibuat menjadi berbagai material dengan pengaplikasian yang luas, misalnya sebagai adsorben. Shariful *et al.* (2017) melakukan pembuatan membran nanofiber dari komposit kitosan/poly (ethylene oxide) yang memiliki kemampuan untuk melakukan penyerapan logam Cu(II), Zn(II), dan Pb(II) secara berturut-turut sebesar 120, 117, dan 180 mg.g<sup>-1</sup>. Karakteristik adsorben lainnya adalah tensile strength sebesar 1,58 MPa, diameter serat 115±31nm, dan luas permukaan spesifik sebesar 218 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>.

Pada *review* ini, penulis mengkaji potensi limbah masker medis sebagai bahan baku pembuatan nanofiber. Aspek-aspek yang menjadi fokus penulis antara lain *pre-treatment*, pembuatan larutan *polypropylene*, fabrikasi *nanofiber*, hingga karakterisasi material. Adapun metode penulisan *review* ini yaitu dengan studi pustaka.

## Metode

Penulisan *review* ini menggunakan metode studi pustaka dimana penulis menghimpun data dan fakta yang terdapat pada literatur atau publikasi ilmiah sebagai sumber informasi lalu melakukan analisis untuk menjawab rumusan masalah dan tujuan artikel.

## Hasil dan Pembahasan

Pengolahan limbah masker medis menjadi material *nanofiber* masker memiliki beberapa tahapan penting, antara lain isolasi *nanofiber* dari limbah masker medis, serta fabrikasi larutan *polypropylene* menjadi *nanofiber* hingga karakterisasi. Limbah masker medis masih memiliki berbagai kontaminan dari pengguna sebelumnya sehingga perlu dilakukan preparasi dan *pre-treatment*. US Food and Administration

(FDA) merekomendasikan beberapa metode untuk menghilangkan keberadaan kontaminan pada masker, beberapa diantaranya dengan hidrogen peroksida, penyinaran sinar *ultraviolet*, dan metode *dry heat*. Metode *dry heat* memiliki kemampuan dalam mendenaturasi protein pada bakteri dan virus yang menempel pada masker sehingga tidak berfungsi lagi. Sementara itu, penggunaan hidrogen peroksida telah digunakan secara luas untuk mensterilkan bagian permukaan yang terkontaminasi bakteri dan virus. Sinar ultraviolet memiliki panjang gelombang tertentu dengan kemampuan dalam memecah bakteri dan virus pada permukaan. Ludwig-Begall *et al.* (2020) melakukan beberapa metode dekontaminasi limbah masker, salah satunya adalah *dry heat*. Hasil dari penelitiannya adalah metode ini berhasil untuk melakukan dekontaminasi virus pada permukaan masker medis.

Limbah masker medis didekontaminasi dengan cara direndam dalam campuran air dan pemutih atau basa kuat lainnya selama beberapa jam untuk menghilangkan bakteri dan virus yang melekat. Kumkrong *et al.* (2021) melakukan dekontaminasi pada limbah masker N95 dengan menggunakan hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) dan ozon (O<sub>3</sub>). Dekontaminasi dengan menggunakan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> menghasilkan proses dekontaminasi lebih cepat dibandingkan dengan O<sub>3</sub>. Akan tetapi, pada uji yang dilakukan kedua bahan tersebut meninggalkan residu pada masker sehingga dapat berbahaya apabila mengalami kontak dengan kulit. Pada dekontaminasi masker menggunakan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, terdapat lebih dari 30% residu yang ditinggalkan pada masker. Sementara itu, Huber *et. al.*, 2021 melakukan dekontaminasi masker N95 dengan menggunakan *germicidal ultraviolet-C* (UV-C) dengan hasil metode ini memiliki kemampuan dalam mereduksi keberadaan SARS-CoV-2 dengan efektif tanpa merusak lapisan filternya. Akan tetapi, penggunaan UV-C hanya dapat dilakukan pada skala kecil dikarenakan memerlukan energi yang cukup tinggi. Diantara berbagai metode yang dekontaminasi yang berkembang, penggunaan etanol 70% merupakan yang paling aman dan terjangkau (Kampf *et al.*, 2020).

Secara umum, *pre-treatment* limbah polimer dapat dilakukan secara mekanis atau kimia. Mikulionok (2011) menyebutkan bahwa tahap pertama *pre-treatment* limbah polimer adalah dengan melakukan penghancuran (*destruction*) lalu penggilingan (*grinding*). Tahap *destruction* memanfaatkan alat penghancur yang dapat memecah limbah masker menjadi potongan-potongan yang lebih kecil pada ukuran lebih dari 5 mm. Selanjutnya dilakukan *grinding* dengan menggunakan *mills* untuk menghasilkan produk dengan ukuran kurang dari 5 mm (Pekkanen *et al.*, 2015).

**Tabel 1.** Fabrikasi *nanofiber polypropylene*

No.	Sampel	Metode	Karakterisasi	Aplikasi	Referensi
1.	<i>Polypropylene/emas/polietilena glikol (PP-g-PEG)</i>	<i>Electrospinning</i>	Diameter serat: 0.3 - 2.5 $\mu\text{m}$ Konsentrasi optimum: 10% wt	Katalis dalam proses reduksi metilen biru dalam NaBH <sub>4</sub>	Berber <i>et al.</i> , 2016
2.	<i>Polypropylene</i>	<i>Micro particle template</i> dan separasi fasa	Diameter spons: 200 $\mu\text{m}$ diameter macropores : 10 $\mu\text{m}$ Tingkat <i>hydrophobicity</i> , <i>superoleophilicity</i> , dan elastisitas tinggi	Adsorpsi ketumpahan minyak pada air bersih	Wang <i>et al.</i> , 2018
3.	<i>Polypropylene/ nanofiber carbon-hydroxyapatite nanorod (PP/CNF-HANR)</i>	<i>Melt extrusion</i>	Komposisi terbaik PP/2% cNF-20% haNr hybrid $T_{5\%} = 444.6 \text{ }^\circ\text{C}$ Modulus Young: 33.0 $\pm$ 0.3 MPa	Meningkatkan adhesi dan proliferasi osteoblas	Liao <i>et al.</i> , 2014
4.	<i>Polypropylene/ diodesil trimetil amonium</i>	<i>Needleless Melt-Electrospinning</i>	Sampel optimum PP + 3% DTAB PP	Fabrikasi <i>nanofiber</i> kualitas tinggi tanpa	Fang <i>et al.</i> , 2015

No.	Sampel	Metode	Karakterisasi	Aplikasi	Referensi
	bromida (PP/DTAB)		Diameter serat 400 ± 290 nm	pelarut	
5.	<i>Polypropylene micro/nanofiber</i> (PP-MNF)	<i>Melt blowing</i>	Kapasitas adsorpsi minyak/gram yaitu 26,65 g Yield ekstraksi 89,62% Diameter 102 - 104 nm	Pemurnian limbah cair kelapa sawit	Semilin et al., 2021
6.	<i>Polypropylene</i> isotaktik	<i>Electrospinning</i>	Diameter serat: sub micron - 10 µm	Bahan baju pelindung diri	Cho et al., 2010
7.	<i>Poly(propylene carbonate)</i> /kitosan (PPC/CS)	<i>Electrospun</i>	Diameter serat 278 ± 98 nm Tensile strength 5 MPa - 15 MPa	Rekayasa jaringan	Jing et al., 2015
8.	<i>Polypropylene</i> dilapisi poly(vinylidene fluoride) (PVDF)	<i>Electrospinning</i>	Konduktivitas Ionik: 1,25 x 10 <sup>3</sup> S Cm <sup>-1</sup> Electrolyte uptake: 295% Diameter: 179 - 230 nm	Separator baterai natrium-ion	Janakiraman et al., 2020
9.	<i>Polypropylene</i>	<i>Forcespinning</i>	Kapasitas adsorpsi maksimum 83,24 mg/g waktu 60 menit, pH 4.	Adsorpsi uranium (IV) pada air laut	Ashrafi et al., 2019
10.	Carbon nanotubes CNT/PP dan multi-walled carbon nanotubes MWNT/PP	<i>Forcespinning</i>	Spinning speed mencapai 16.000 r min <sup>-1</sup> Diameter : 500 - 720 nm	Determinasi kelayakan produksi polimer dengan metode rotary jet spinning	O'haire et al., 2014

Pembuatan *nanofiber* berbahan dasar kitosan dengan metode *electrospinning* memiliki serangkaian kekurangan, antara lain sulitnya dilakukan pemisahan, korosif, memiliki bau yang tidak menyenangkan, toksik serta menghabiskan biaya yang tinggi (Shariful et al., 2017). Sehingga metode *electrospinning* lebih cocok digunakan pada bahan polimer. Konsentrasi polimer yang lebih tinggi menunjukkan sifat potensial listrik yang lebih baik sehingga dapat dilakukan fabrikasi *electrospinning* (Berber et al., 2016). Di sisi lain, Ashrafi et al. (2019) melakukan fabrikasi *nanofiber* sebagai adsorben uranium (IV) pada air laut dengan metode *forcespinning*. Metode ini tidak memerlukan pelarut karena *polymer* dilelehkan dalam suhu tinggi.

Separasi fasa merupakan salah satu metode fabrikasi *nanofiber* dimana volatilitas pelarutnya mempengaruhi porositas *nanofiber* yang terbentuk. Oleh karena itu, jenis pelarut memiliki peranan penting (Othman et al., 2016). Wang et al. (2018) melakukan fabrikasi *nanofiber* menggunakan metode *micro particle template* dan separasi fasa. Pencampuran pelarut dekalin dan 1-butanol (4:6) digunakan sebagai pelarut *polypropylene* (Wang et al., 2018). *Nanofiber* yang dibuat dengan metode separasi fasa memiliki kapasitas adsorpsi logam Cu<sup>2+</sup> sebesar 2,57 mmol/g, dengan efisiensi kapasitas 90% setelah penggunaan sebanyak 6 putaran (Qin et al., 2017). Semilin et al., pada tahun 2020 telah melakukan pembuatan *micro/nano fiber*

*polypropylene* (PP-MNF) sebagai material penyerap minyak di dalam limbah cair kelapa sawit (POME) dengan ekstraksi *yield* mencapai 89,62%. Kualitas *yield* yang diperoleh hampir sama dengan minyak mentah, dan tidak ada kontaminasi *polypropylene* yang ditemukan pada minyak yang diperoleh. Selain itu, material memiliki tingkat *reusability* yang tinggi dengan pemakaian hingga 12 kali (Semilin *et al.*, 2020).

Pada pengujian XRD, *polypropylene* murni menunjukkan sudut difraksi pada  $2\theta = 14,1^\circ$ ;  $16,9^\circ$ ;  $18,5^\circ$ ;  $21,2^\circ$ ; and  $21,8^\circ$ . Intensitas *polypropylene* semakin berkurang seiring dengan meningkatnya konsentrasi *carbon-hydroxyapatite nanorod* (Liao *et al.*, 2014). Sementara itu, hasil analisis spektrum FTIR pada *polypropylene nanofiber* menunjukkan puncak pada 2240 ( $-\text{C}\equiv\text{N}$ ), 1650 ( $-\text{C}=\text{N}$ ), and 940 ( $-\text{N}-\text{O}$ )  $\text{cm}^{-1}$ . Puncak yang lebar dan tajam pada ( $3200-3400 \text{ cm}^{-1}$ ) menunjukkan keberadaan gugus fungsi  $-\text{OH}$  dan  $-\text{NH}_2$  pada *polypropylene* (Ashrafi *et al.*, 2019).

### Simpulan

*Pre-treatment* limbah masker medis yang paling mudah dan praktis yaitu dengan mendekontaminasinya dengan bahan kimia seperti pemutih, etanol, dan hidrogen peroksida. Pelarutan limbah masker medis yang telah bebas patogen harus mempertimbangkan metode fabrikasi dan sifat dari pelarut itu sendiri. Pemilihan jenis pelarut berperan penting dalam menentukan tingkat porositas material *nanofiber*. Terdapat berbagai metode fabrikasi *nanofiber* yang telah diaplikasikan penelitian sebelumnya seperti TIPS, *forcespinning*, *melt extrusion*, dan *electrospinning*. *Electrospinning* merupakan metode yang umum digunakan pada produksi skala industri dan separasi fasa dengan fungsi produk sebagai adsorben. Karakterisasi morfologi dan diameter nanofiber dilakukan dengan uji SEM, sementara itu pengukuran kristalinitas material dilakukan dengan uji XRD, dan karakterisasi FTIR digunakan dalam analisis gugus fungsi *nanofiber*.

### Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, dan Teknologi selaku pemberi hibah penelitian pada Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dengan skema PKM-Riset Eksakta (PKM; Nomor kontrak: 035/E2/PPK/SPPK/PKM/20210).

### Daftar Referensi

- Ashrafi, F., Firouzzare, M., Ahmadi, S. javad, Sohrabi, M. reza, & Khosravi, M. 2019. Preparation and modification of forcespun polypropylene nanofibers for adsorption of uranium (VI) from simulated seawater. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 186: 109746. doi:10.1016/j.ecoenv.2019.109746
- Berber, E., Horzum, N., Hazer, B., & Demir, M. M. 2016. Solution electrospinning of polypropylene-based fibers and their application in catalysis. *Fibers and Polymers*, 17(5): 760–768. doi:10.1007/s12221-016-6183-7
- Cai, Y., Wei, Q., & Huang, F. 2012. Processing of composite functional nanofibers. *Functional Nanofibers and Their Applications*, 38–54. doi:10.1533/9780857095640.1.38.
- Cho, D., Zhou, H., Cho, Y., Audus, D., & Joo, Y. L. 2010. Structural properties and superhydrophobicity of electrospun polypropylene fibers from solution and melt. *Polymer*, 51(25): 6005–6012. doi:10.1016/j.polymer.2010.10.028
- Da Costa, J. P., Santos, P. S. M., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. 2016. (Nano)plastics in the environment – Sources, fates and effects. *Science of The Total Environment*, 566-567: 15–26. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.05.041.
- Di Maria, F., Beccaloni, E., Bonadonna, L., Cini, C., Confalonieri, E., La Rosa, G., Milana, M.R., Testai, E., & Scaini, F. 2020. Minimization of spreading of SARS-CoV-2 via household waste produced by subjects affected by COVID-19 or in quarantine. *Science of The Total Environment*, 743: 140803. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140803
- Fang, J., Zhang, L., Sutton, D., Wang, X., & Lin, T. 2012. Needleless Melt-Electrospinning of Polypropylene Nanofibres. *Journal of Nanomaterials*, 2012: 1–9. doi:10.1155/2012/382639

- Hong, J., Zhan, S., Yu, Z., Hong, J., & Qi, C. 2017. Life-cycle environmental and economic assessment of medical waste treatment. *Journal of Cleaner Production*, 174: 65–73. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.206.
- Huber, T., Goldman, O., Epstein, A.E., Stella, G., Sakmar, T. P. 2021. Principles and practice for SARS-CoV-2 decontamination of N95 masks with UV-C, *Biophysical Journal*, 120: 1–16.
- Janakiraman, S., Khalifa, M., Biswal, R., Ghosh, S., Anandhan, S., & Venimadhav, A. 2020. High performance electrospun nanofiber coated polypropylene membrane as a separator for sodium ion batteries. *Journal of Power Sources*, 460: 228060. doi:10.1016/j.jpowsour.2020.228060
- Jing, X., Mi, H.-Y., Peng, J., Peng, X.-F., & Turng, L.-S. 2015. Electrospun aligned poly(propylene carbonate) microfibers with chitosan nanofibers as tissue engineering scaffolds. *Carbohydrate Polymers*, 117: 941–949. doi:10.1016/j.carbpol.2014.10.025
- Kampf, G., Todt, D., Pfaender, S., & Steinmann, E. 2020. Corrigendum to “Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents”. *Journal of Hospital Infection*. 104: 246-251. doi:10.1016/j.jhin.2020.06.001.
- Kumkrong, P., Scoles, L., Brunet, Y., Baker, S., Mercier, P.H.J., & Poririer, D. 2021. Evaluation of hydrogen peroxide and ozone residue levels on N95 masks following chemical decontamination. *Journal of Hospital Infection*, 111: 117-124.
- Liao, C. Z., Wong, H. M. Yeung, K., & Tjong, S. C., 2014. The development, fabrication, and material characterization of polypropylene composites reinforced with carbon nanofiber and hydroxyapatite nanorod hybrid fillers. *International Journal of Nanomedicine*, 1299. doi:10.2147/ijn.s58332
- Liu, Y., Cui, H., Zhuang, X., Wei, Y., & Chen, X. 2014. Electrospinning of aniline pentamer-graft-gelatin/PLLA nanofibers for bone tissue engineering. *Acta Biomaterialia*, 10(12): 5074–5080. doi:10.1016/j.actbio.2014.08.036
- Ludwig-Begall, L. F., Wielick, C., Dams, L., Nauwynck, H., Demeuldre, P.-F., Napp, A., Laperre, J., Hauberge, E., Thiry, E. 2020. The use of germicidal ultraviolet light, vaporised hydrogen peroxide and dry heat to decontaminate face masks and filtering respirators contaminated with a SARS-CoV-2 surrogate virus. *Journal of Hospital Infection*. doi:10.1016/j.jhin.2020.08.025.
- Mikulionok, I. O. 2011. Pretreatment of recycled polymer raw material. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 84(6): 1105–1113. doi:10.1134/s1070427211060371.
- O’Haire, T., Rigout, M., Russell, S., & Carr, C. 2013. Influence of nanotube dispersion and spinning conditions on nanofibre nanocomposites of *polypropylene* and multi-walled carbon nanotubes produced through Forcespinning™. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(2), 205–214. doi:10.1177/0892705713495222
- Othman, N., Harruddin, N., Idris, A., Ooi, Z.-Y., Fatiha, N., & Raja Sulaiman, R. N. 2016. Fabrication of *polypropylene* membrane via thermally induced phase separation as a support matrix of tridodecylamine supported liquid membrane for Red 3BS dye removal. *Desalination and Water Treatment*, 57(26): 12287–12301. doi:10.1080/19443994.2015.1049554
- Pekkanen, A. M., Zawaski, C., Stevenson, A. T., Dickerman, R., Whittington, A. R., Williams, C. B., & Long, T. E. 2017. Poly(ether ester) Ionomers as Water-Soluble Polymers for Material Extrusion Additive Manufacturing Processes. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(14): 12324–12331. doi:10.1021/acsami.7b01777.
- Pieper, U., Hayter, A. & Montgomery, M. (2017). *Safe management of wastes from health - care activities A summary\**. Geneva, (WHO/FWC/WSH/17.05), pp. 1–24. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259491/WHO-FWC-WSH-17.05-eng.pdf;jsessionid=BE197A8BAB73EC864CA3573E15D4F0E6?sequence=1>.
- Qin, W., Li, J., Tu, J., Yang, H., Chen, Q., & Liu, H. 2017. Fabrication of porous chitosan membranes composed of nanofibers by low temperature thermally induced phase separation, and their adsorption behavior for Cu<sup>2+</sup>. *Carbohydrate Polymers*, 178: 338–346. doi:10.1016/j.carbpol.2017.09.051

- Semilin, V., Janaun, J., Chung, C. H., Touhami, D., Haywood, S. K., Chong, K. P., Yaser, A.Z., & Zein, S. H. 2020. Recovery of Oil from Palm Oil Mill Effluent using *Polypropylene* Micro/nanofiber. *Journal of Hazardous Materials*, 124144. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.124144
- Shariful, M. I., Sharif, S. B., Lee, J. J. L., Habiba, U., Ang, B. C., & Amalina, M. A. 2017. Adsorption of divalent heavy metal ion by mesoporous-high surface area chitosan/poly (ethylene oxide) nanofibrous membrane. *Carbohydrate Polymers*, 157: 57–64. doi:10.1016/j.carbpol.2016.09.063
- Wang, G., Peng, L., Yu, B., Chen, S., Ge, Z., & Uyama, H. 2018. Hierarchically porous sponge for oily water treatment: Facile fabrication by combination of particulate templates and thermally induced phase separation method. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 62: 192–196. doi:10.1016/j.jiec.2017.12.057
- Wang, Z., Sedighi, M., & Lea-Langton, A. 2020. Filtration of Microplastic Spheres by Biochar: Removal Efficiency and Immobilisation Mechanisms. *Water Research*, 116165. doi:10.1016/j.watres.2020.116165
- Wright, S.L., Rowe, D., Thompson, R.C., Galloway, T.S., 2013. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Curr. Biol.* 23 (23): 1031–1033.
- Zhang, Y., Li, N., Lv, G., & Chen, Z. 2019. Quantification of fatigue damage at dry–wet cycles of polymer fiber cement mortar. *Materials Letters*, 257: 126754. doi:10.1016/j.matlet.2019.126754