

## Masker Nanofiber dari *Cellulose Acetate* (CA) dan $Al_2O_3$ sebagai Upaya Preventif Kanker Paru Akibat Asap Rokok

Assama' u shofiyah<sup>1</sup>, Alivia Nadila<sup>1</sup>, Linda Arfiani<sup>1</sup>, Mochamad Zakki Fahmi<sup>1\*</sup>

1. Universitas Airlangga, Indonesia

\*Corresponding author: [m.zakki.fahmi@fst.unair.ac.id](mailto:m.zakki.fahmi@fst.unair.ac.id)

### Abstrak

*Indonesia merupakan negara yang merdeka pada tahun 1945 dan akan mencapai masa keemasan pada tahun 2045. Pada tahun tersebut, Indonesia mengalami peningkatan penduduk sehingga mendorong transisi epidemiologi yang menyebabkan meningkatnya penyakit kanker terlebih kanker paru-paru. Pengidap kanker paru-paru di Indonesia mengalami kenaikan dari 30.038 penduduk tahun 2018 hingga 34.189 penduduk pada tahun 2020. Penyebab utama terjadinya kanker paru-paru adalah asap rokok. Upaya preventif yang selama ini digunakan untuk menangani kanker paru-paru disebabkan asap rokok dengan diadakannya peraturan area bebas rokok dan penggunaan masker konvensional. Namun, upaya preventif tersebut masih belum efektif dalam menangani permasalahan kanker paru-paru. Oleh sebab itu, pengembangan teknologi mengenai nanofiber mask dapat diterapkan untuk permasalahan ini. Artikel ilmiah ini bertujuan menyajikan informasi tentang interaksi antara nanofiber  $Al_2O_3$  dan CA dari jerami padi dengan senyawa karsinogen serta potensinya sebagai bahan karzinogen resistan nanofiber mask dalam asap rokok. Artikel ilmiah ini disajikan dalam bentuk narrative review menggunakan metode analisis deskriptif dengan penjabaran secara kronologis hasil penelitian terdahulu. Hasilnya, kombinasi nanofiber  $Al_2O_3$  dan nanofiber CA mampu menyaring partikulat melayang hingga 0,26 mikrometer. Nanofiber  $Al_2O_3$  mampu menyaring senyawa nitrosamina dan CO, sedangkan nanofiber CA mampu menyaring jenis senyawa PAH. Sehingga kombinasi tersebut berpotensi sebagai bahan karzinogen Resistant nanofiber mask karena memiliki kemampuan penyerapan yang baik terhadap senyawa karsinogen asap rokok. Kata-kata kunci: nanofiber  $Al_2O_3$ , nanofiber cellulose acetate, senyawa karsinogen*

### Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang merdeka pada tahun 1945 dan akan mencapai masa keemasan pada tahun 2045. Indonesia pada tahun 2045 diperkirakan akan memiliki jumlah penduduk sebesar 311-318,9 juta jiwa (Bappenas, 2018). Jumlah penduduk dewasa (15-64 tahun) dan jumlah lansia mengalami peningkatan sehingga mendorong transisi epidemiologi. Transisi epidemiologi merupakan peningkatan penyakit tidak menular dan penyakit degeneratif. Penyakit tidak menular di Indonesia diproyeksikan meningkat dari 37% hingga 57%. WHO menyatakan bahwa di Asia Tenggara penyakit tidak menular seperti kanker akan mengalami kenaikan (Bappenas, 2019). Penyakit

kanker memiliki banyak jenis, salah satunya kanker paru-paru. Di Indonesia pengidap kanker paru paru mengalami kenaikan dari data yang tercatat pada tahun 2018 sebesar 30.028 penduduk (IARC, 2018) naik menjadi 34.189 penduduk pada tahun 2020 (IARC, 2020).

Asap rokok merupakan asap yang dihasilkan dari pembakaran rokok dan menjadi faktor utama penyebab kanker paru-paru. Asap rokok mengandung ribuan senyawa berbahaya dan karsinogenik, 250 senyawa tersebut menyebabkan kanker (WHO, 2019). Asap rokok yang mengandung senyawa karsinogen tertahan pada filter rokok sebesar 75% kemudian terlepas ke udara dan terhirup oleh perokok pasif. Senyawa karsinogen dalam asap rokok berasal dari golongan nitrosamina, benzena, formaldehida, asetaldehida, akrilamida, arsenik, kadmium dan lainnya (Dusautoir *et al.*, 2020). Akibat dari paparan senyawa karsinogen asap rokok, setiap tahunnya lebih dari 1.200.000 perokok pasif meninggal dunia (Verma *et al.*, 2020). Tingginya angka kematian perokok pasif menyebabkan pemerintah memberikan kebijakan untuk mengurangi paparan asap rokok pada perokok pasif dengan memakai masker pelindung atau respirator (Kemenkes RI, 2018). Masker pelindung atau filtrat tidak mampu menyerap partikel dibawah 2,5 mikrometer sehingga senyawa karsinogenik yang berukuran mikro dapat mengikat senyawa karsinogenik (Almeida *et al.*, 2020). Seiring dengan perkembangan teknologi produksi nanofiber, masker dengan serat nano dapat diproduksi melalui *electrospinning* (Grothe, 2017).

*Electrospinning* merupakan salah satu metode pembentukan serat (fiber) melalui pancaran muatan listrik dari suatu larutan atau cairan polimer (Marno, 2018). Proses *electrospinning* memiliki kelebihan berupa pembuatan nanofiber yang murah dan efisien terhadap kegunaannya (Worthmann, 2020). Nanofiber polimer memiliki rasio permukaan-volume tinggi, kemampuan adsorpsi dan absorpsinya yang sangat baik karena porinya sehingga berpotensi sebagai penyerap senyawa karsinogen pada asap rokok (Wu *et al.*, 2019). Menurut hasil beberapa kelompok riset, nanofiber dapat dengan mudah diproduksi dengan proses *electrospinning* dari bahan alami, seperti polisakarida, kolagen, sutera, selulosa, atau polimer sintetik (Mamun, 2021). Bahan alami dari bahan alam seperti selulosa dapat diperoleh dari sekam padi atau jerami padi (Nugroho, 2018).

Pada tahun 2021, limbah jerami padi kering mencapai 54,42 juta ton (BPS, 2022). Selulosa dari jerami padi dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan *Cellulose acetate* (CA) karena sifatnya yang biodegradable dan tidak beracun sehingga sering dimanfaatkan sebagai membran semipermeabel dan biomedis (Gonçalvesa *et al.*, 2020). Selain adanya CA dalam masker sebagai membran semipermeabel,  $Al_2O_3$  adanya oksida logam yang bersifat stabil, permukaannya yang luas, serta harganya yang murah seperti alumina ( $Al_2O_3$ ) sangat efisien sebagai adsorben (Breida *et al.*, 2018). Kombinasi alumina dan *cellulose acetate* pada *nanofiber mask* dapat membuat masker yang tahan terhadap senyawa karsinogen.

Berdasarkan data dan permasalahan yang telah dijabarkan, sebagai mahasiswa yang menjunjung tinggi Tri Dharma Perguruan Tinggi dan juga sebagai *agent of change* maka penulis bertujuan *untuk menyajikan informasi tentang interaksi antara nanofiber Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan CA dari jerami padi dengan senyawa karsinogen serta potensinya sebagai bahan *carcinogen resistant nanofiber mask* dalam asap rokok menggunakan *electrospinning*. Gagasan tersebut berjudul **Masker Nanofiber dari Cellulose Acetate (CA) dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai Upaya Preventif Kanker Paru Akibat Asap Rokok.***

## **Metode**

Artikel ilmiah ini disajikan dalam bentuk *narrative review*, yaitu dengan penjabaran secara kronologis hasil penelitian terdahulu. Kriteria inklusi yang digunakan adalah jurnal ilmiah internasional (Elsevier, Springer, CrossMark, PubMed, Research Gate, dan Scholar) yang berbahasa Inggris, tahun publikasi 2012-2022, dan terindeks Scopus. Proses pengumpulan hingga penyuntingan dilakukan pada bulan Desember 2022. Adapun kata kunci yang digunakan dalam pencarian jurnal ilmiah adalah *nanofiber cellulosa acetate, nanofiber Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, second-hand smoke, cigarette smoke, cigar smoke, carcinogenic smoke, lung cancer*, dan *nanofiber mask*.

## **Hasil dan Pembahasan**

### **Sintesis Cellulose Acetate dari Jerami Padi**

Selulosa diisolasi dengan perlakuan kimiawi berdasarkan teknik yang digunakan pada penelitian sebelumnya (Chandra *et al.*, 2016). Metode pembuatan fiber terdiri atas beberapa tahap. Tahap pertama adalah alkalisasi, serat mentah jerami padi dicuci dalam campuran larutan toluena dan etanol dengan perbandingan 2:1. Serat dihilangkan minyaknya dengan bantuan *stirrer* dan *hot plate* selama 48 jam, kecepatan pengadukan 500 rpm, dan suhu 50°C kemudian disaring sambil dibilas aquades sampai pH netral. Suspensi yang dituangkan pada plat dan dikeringkan dengan oven selama 20 jam dengan suhu 50°C. Serat kering dicuci dengan NaOH 5%, lalu dihilangkan lapisan lilinnya dengan bantuan pengaduk selama 4 jam, kecepatan 500 rpm, dan suhu 50°C. Serat kemudian disaring dengan pengayak 200 mesh dan disaring dengan buchner dan pompa vakum sambil dibilas aquades sampai pH netral. Suspensi tuangkan pada wadah teflon untuk dikeringkan dengan oven selama 20 jam dengan suhu 50°C. Serat dihaluskan dengan bantuan blender. Tahap kedua adalah proses pemutihan (*Bleaching process*). Serat kering yang telah dihaluskan direndam dalam campuran NaClO<sub>2</sub> dan CH<sub>3</sub>COOH dengan rasio 4:1. Reduksi lignin dalam serat dengan pemanasan dengan suhu 60°C dan kecepatan pengadukan 500rpm selama 2 jam. Serat dibersihkan dengan pompa vakum *buchner* dan dibilas dengan aquades sampai netral. Tahap ketiga adalah hidrolisis asam. Suspensi dihidrolisis dengan HCl 5M pada suhu 50°C selama 12 jam, kemudian disaring dengan pompa vakum buchner dan dengan aquades sampai

netral dengan kertas saring whatman. Selanjutnya suspensi disonikasi dengan *ultrasonic cell crusher* pada 600 W. Setiap 100 mL suspensi disonikasi selama 60 menit (Mahardika *et al.*, 2018). Suhu suspensi maksimal yaitu 60°C selama sonikasi. Suspensi tuangkan pada wadah teflon untuk dikeringkan dengan oven selama 20 jam dengan suhu 50°C.

### **Sintesis Nanofiber CA dan Nanofiber Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

*Electrospinning* merupakan teknik sintesis *nanofiber* yang paling sering digunakan untuk sintesis *nanofiber* dari material larutan polimer karena mudah, cepat, dan menghasilkan serat secara kontinyu (Xue *et al.*, 2017). *Electrospinning* menerapkan gaya elektrostatis untuk meregangkan serat dari larutan polimer (Wsoo *et al.*, 2020). Komponen utama *electrospinning* terdiri atas kolektor datar atau sirkular statis, *syringe*, dan penjepit listrik (Chen *et al.*, 2020). *Electrospinning* konvensional menghasilkan *nanofiber* dalam bentuk lembaran, sehingga tepat diaplikasikan untuk pembuatan membran filtrasi. *Electrospun fiber* dapat disebut *nanofiber* bila diameternya lebih tipis dari 500 nm (Xue *et al.*, 2017). *Nanofiber* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat disintesis dari prekursor Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O/*polyacrylonitrile* (PAN) menghasilkan serat nano dengan karakteristik yang cocok untuk adsorpsi karena berongga (*hollow*), rasio luas permukaan yang lebih besar terhadap volume, dan porositas yang lebih tinggi (Rodaev *et al.*, 2017). Sintesis CA juga terbilang murah dengan bahan baku tumbuhan seperti tongkol jagung (Araújo *et al.*, 2020). Berdasarkan literatur, konsentrasi CA 14 % (w/v) menghasilkan serat dengan diameter lebih kecil dan *beads* lebih sedikit (Nicosia *et al.*, 2016).

### **Desain Masker Nanofiber**

Masker nanofiber merupakan masker yang terbuat dari serat nano *cellulose acetate* (CA) dengan penambahan alumina oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Nanofiber didefinisikan sebagai serat dengan diameter di bawah 1 µm (Zdraveva *et al.*, 2017). Nanofiber polimer memiliki rasio permukaan volume tinggi, berpori, dan kemampuan adsorpsi yang sangat baik. CA merupakan polimer ramah lingkungan, bersifat *biodegradable*, dan tidak beracun sehingga sering dimanfaatkan sebagai membran semipermeabel dan biomedis (Gonçalves *et al.*, 2020). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan oksida logam yang memiliki sifat sangat stabil, permukaan luas, dan harga murah sehingga pemanfaatannya sangat luas dalam bidang adsorben (Breida *et al.*, 2018). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> juga dapat mengikat senyawa golongan NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> (Wang *et al.*, 2020). Desain masker nanofiber CA-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sesuai pada gambar 1, masker ini merupakan masker bedah yang nyaman, antibakteri, tidak beracun, dan *biodegradable*.

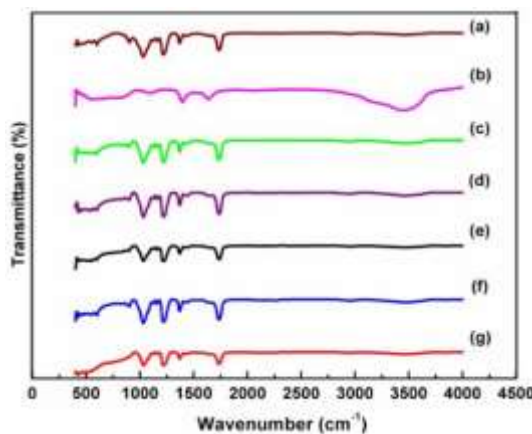


**Gambar 1.** Desain masker nanofiber

### **Kemampuan dan Efisiensi Penyerapan Nanofiber CA/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap Zat Karsinogen pada Asap Rokok**

*Cellulose acetate* (CA) termasuk ester organik selulosa yang berupa padatan tidak berbau, tidak beracun, tidak berasa dan berwarna putih. *Cellulose acetate* (CA) sering diaplikasikan untuk penyerapan polutan karsinogenik dari lingkungan (Liu *et al.*, 2019). CA juga telah dikenal sejak lama sebagai filter rokok karena kemampuannya menyerap PAH yang banyak terdapat dalam asap rokok (Fu *et al.*, 2020). Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) merupakan oksida logam berpori, toksisitas rendah, dan ekonomis (Pan *et al.*, 2020). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dimanfaatkan dalam degradasi nitrat dan fosfat karena memiliki sifat amfoter dan mengontrol pH (Breida *et al.*, 2018). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mampu mengikat dan menjaga kestabilan senyawa golongan PAH (Dang *et al.*, 2019)

Penggabungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> *nanoparticles* (NPs) dalam matriks CA menyebabkan perubahan yang signifikan pada intensitas pita absorpsi. Dengan meningkatnya kandungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NPs dalam matriks CA, menyebabkan penurunan intensitas pita vibrasi C-O *stretching* CA pada bilangan gelombang 1734 cm<sup>-1</sup>. Pita pada 1635 dan 3454 cm<sup>-1</sup> yang merupakan pita spesifik Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NPs juga terlihat dalam spektra FTIR dari nanokomposit CA/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hal ini menunjukkan interaksi yang signifikan antara matriks CA dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NPs. Spektrum FTIR nanokomposit CA/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat diamati pada Gambar 2



**Gambar 2.** Spektrum FTIR nanokomposit CA/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (a) CA, (b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NP, (c) 5 wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (d) 10 wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (e) 15 wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (f) 20 wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan (g) 25 wt% Al

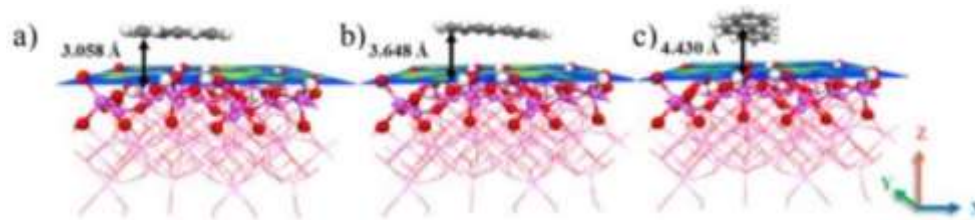
Beberapa penelitian yang memanfaatkan *electrospun nanofiber* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan CA disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Efisiensi Nanofiber CA dan Nanofiber Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Jenis Nanofiber	Efisiensi	Bahan Tambahan	Referensi
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pb(II) dan Cd (II) 90%	-	Yang <i>et al.</i> (2010)
	24% Cu(II), 50% Pb(II), 68% Ni(II), 89% Hg(II)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mahapatra <i>et al.</i> (2013)
	Partikel aerosol >99,8%	-	Wang <i>et al.</i> (2014)
	Pewarna organik >90%	-	Peng <i>et al.</i> (2015)
	U(VI) 86%	-	Ren <i>et al.</i> (2016)
	Hidrolisis amina 97%	Co	Baguc <i>et al.</i> (2019)
CA	Water filter 89%	-	Zhou <i>et al.</i> (2011)
	Fenantrena 96%	Siklodekstrin	Celebioglu <i>et al.</i> (2014)
	Antibakteri 100%	MDI	Li <i>et al.</i> (2015)
	Thermostabil filter >80%	-	Nicosia <i>et al.</i> (2016)
	Nanopartikel 99,8%	-	Ahne <i>et al.</i> (2018)
	PM <sub>2,5</sub> 100%	CPB	de Almeida <i>et al.</i> (2020)

### Kestabilan nanofiber CA/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Menurut Yu *et al.* (2011), nanofiber Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki stabilitas termal dan kimia yang tinggi. Jika Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ada di lapisan terluar maka interaksi dari kedua bahan karsinogen resisten *nanofiber mask* dapat diminimalkan. Selain itu, fungsi utama dari lapisan nanofiber Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah untuk mengadsorpsi dan mengabsorpsi nitrosamine dan CO (Peng *et al.*, 2015). Menurut Nicosia *et al.* (2016), nanofiber CA dapat digunakan sebagai adsorben meskipun berada di lingkungan yang bersuhu tinggi namun terdegradasi pada 200°C. Selain itu, nanofiber CA memiliki kelarutan rendah dalam air yang dibuktikan oleh penelitian dari Wang *et al.* (2020), bahwa nanofiber CA dapat memisahkan campuran minyak dengan air hingga 99,97%. Jadi, nanofiber CA sangat cocok digunakan pada lapisan dalam karcinogen resistant *nanofiber mask* agar semakin aman ketika diaplikasikan.

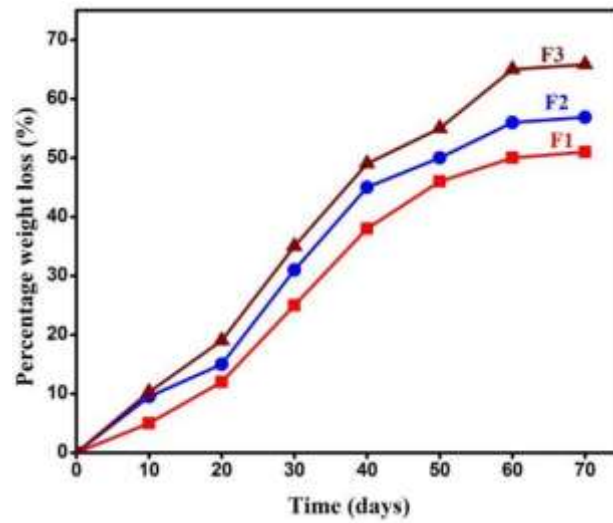


**Gambar 3.** Representasi kestabilan senyawa PAH a) naftalena, b) antrasena, dan c) fenantrena pada permukaan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Dang *et al.*, 2017).

PAH yang terkandung dalam asap rokok dapat diserap oleh nanofiber CA. Diketahui bahwa CA nanofiber dari tumbuhan *Juncus effusus* termodifikasi polyvinylpyrrolidon (PVP) menunjukkan adsorpsi PAH rata-rata 61,79%; sedangkan peran  $\text{Al}_2\text{O}_3$  diketahui dapat mengikat senyawa golongan  $\text{NO}_x$  (Fu *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020). Selain itu, adanya rongga dan pori pada nanofiber  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat membantu kerja CA dalam mengikat dan menstabilkan golongan PAH. Ilustrasi kestabilan PAH pada permukaan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  diamati pada Gambar 3.

#### **Kemampuan biodegradasi CA/ $\text{Al}_2\text{O}_3$**

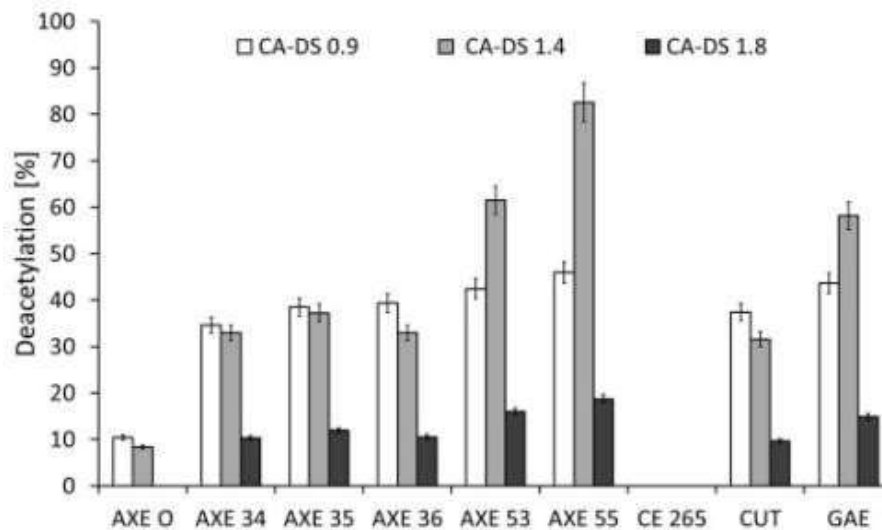
Biodegradasi CA/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  bergantung pada kemampuan degradasi selulosa asetat (CA). Selulosa asetat (CA) merupakan salah satu bahan yang memiliki potensi *biodegradable*. Rajeswari *et al.*, (2020) dalam studinya melakukan degradasi film CA (F1), CA/natrium alginat atau CA/SA (F2) dan CA/carageenan atau CA/CG (F3) pada tanah pada kondisi atmosfer yang dijaga konstan selama 60 hari. Hasil mengungkapkan degradasi film CA setelah 58 hari sebesar 65% (b/b) lebih besar daripada kedua komposit film CA/SA dan CA/CG yang sebesar masing-masing 55 dan 50 % (b/b). Hal ini menunjukkan bahwa selulosa asetat bersifat *biodegradable*.



**Gambar 4.** Degradasi film F1, F2, dan F3 yang ditunjukkan oleh penurunan berat film.



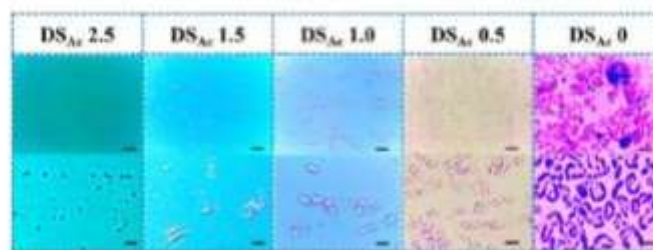
Laju biodegradasi bergantung pada derajat substitusi grup asetil (DS). Semakin kecil nilai DS, maka semakin tinggi laju biodegradasinya. Penentu laju biodegradasi CA adalah deasetilasi oleh hidrolisis kimia atau enzim asetil esterase yang dilanjutkan oleh degradasi tulang punggung selulosa oleh enzim selulase Puls, *et al.* (2011) dengan biodegradasi lebih efektif pada DS <1,5 - 1,8. Pada studi Haske-Cornelius *et al.*, (2017), enzim selulase, LPMOs dan asetil esterase bersinergi untuk degradasi CA dengan derajat deasetilasi > 80% pada DS 1,4 oleh enzim AXE55.



**Gambar 5.** Deasetilasi berbagai selulosa asetat oleh esterase.

Selulosa asetat dengan 0,9 asetil gugus per monomer (CA-DS 0.9), selulosa asetat dengan 1,4 gugus asetil per monomer (CA-DS 1.4), dan selulosa asetat dengan 1,8 gugus asetil per monomer (CA-DS 1.8). Asetil Xilan Esterase (AXE); karbohidrat esterase (CE); cutinase (CUT); glukomanan asetil esterase (GAE); asetil pektin esterase (PAE). (Haske *et al.*, 2017)

Xu *et al.* (2022) mengungkapkan terjadi penurunan kemampuan bakteri tanah pendegradasi umum pada tanah, *Bacillus subtilis* dalam mendegradasi CA dengan DS 2,5; 1,5, 1,0, 0,5, dan 0. Semakin menurunnya DS, maka perkembangan *B.subtilis* pada permukaan film semakin berkembang baik.



**Gambar 6.** pengaruh DS pada kemampuan *B. subtilis* untuk menempel pada permukaan film CA (Xu *et al.*, 2022)

## **Kesimpulan**

Masker nanofiber dapat digunakan sebagai langkah preventif penanggulangan penyakit kanker paru yang merupakan penyakit tidak menular akibat transisi epidemiologi. Masker nanofiber terdiri dari nanofiber alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan *Cellulose Acetate* (CA). Nanofiber Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) mampu mengikat senyawa karsinogen (baik senyawa organik maupun anorganik), sedangkan *Cellulose Acetate* berbasis jerami padi memiliki keunggulan dalam mengadsorpsi PM<sub>2,5</sub>. Oleh sebab itu, kombinasi kedua nanofiber tersebut berfungsi dalam mengadsorpsi dan mengabsorpsi senyawa carcinogen sebagai upaya menekan faktor risiko kanker paru.

## **Ucapan Terimakasih**

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Prof. Muhammad Nasih selaku Rektor Universitas Airlangga, Bapak Mochamad Zakki Fahmi, Ph.D selaku dosen pembimbing, seluruh jajaran dosen Universitas Airlangga serta teman-teman yang terlibat dalam penulisan artikel ilmiah ini.

## Daftar Pustaka

- Almeida, D.S., Leila D.M., Edvani C.M., Anderson P.R., Rafaela S. Alexandra B., Paulo Rd., Daniela P.F.B., Monica L.A., Marcelino L.G. 2020. Biodegradable CA/CPB electrospun nanofibers for efficient retention of airborne nanoparticles. *Process Safety and Environmental Protection*. 144: 177-185.
- Bappenas, 2018. Portal Data Proyeksi Penduduk Indonesia 2015 - 2045. <https://www.proyeksipenduduk.bappenas.go.id>. Diakses pada 19 Desember 2022.
- Bappenas, 2019. Visi Indonesia 2045. <https://www.bappenas.go.id/>. Diakses pada 19 Desember 2022.
- BPS, 2022. Produksi Beras Indonesia Tahun 2021. <https://www.bps.go.id/>. Diakses pada 23 Desember 2022.
- Breida, M., Younssi, S.A., Bouazizi, A., Achiou, B., Ouammou, M., El Rhazi, M. 2018. Nitrate removal from aqueous solutions by  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ultrafiltration membranes. *Heliyon*. 4(1): e00498.
- Dang, Y., Liu, Y., Feng, X., Chen, X., Yang, C. 2019. Effect of dispersion on the adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons over the  $\gamma$ - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (110) surface. *Applied Surface Science*. 486: 137-143
- Dusautoir, R., Zarcone, G., Verrielle, M., Garçon, G., Fronval, I., Beauval, N., Allorge, D., Riffault, V., Locoge, N., Lo-Guidice, J.M., Anthérieu, S. 2020. Comparison of the chemical composition of aerosols from heated tobacco products, electronic cigarettes and tobacco