

## Rawatan Plasma Nitrogen Suhu Bilik untuk Peningkatan Fungsi Penyembuhan Pembalut Luka

(Room Temperature Nitrogen Plasma Treatment for Advanced Wound Healing Functionality)

ANIN SOFYA MOHD AKHIRI<sup>1</sup>, LUQMAN HAKIMI ABDUL AZIZ<sup>1</sup>, AINUL HAFIZA ABD HAIR<sup>2</sup>, SARANI ZAKARIA<sup>1</sup> &  
ROZIDAWATI AWANG<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jabatan Fizik Gunaan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan  
Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

<sup>2</sup>Centre of Foundation Studies, Universiti Teknologi MARA, Cawangan Selangor, Kampus Dengkil, 43600 Dengkil,  
Selangor, Malaysia

Diserahkan: 27 Mei 2024/Diterima: 26 Jun 2024

### ABSTRAK

Pembalut luka kain kasa digunakan dalam pengurusan luka didapati tidak mampu mengekalkan persekitaran yang optimum untuk penyembuhan luka. Untuk mengatasi isu ini, rawatan plasma nitrogen tanpa terma telah dikenakan ke atas pembalut luka kain kasa menggunakan sistem pemendapan wap kimia secara peningkatan plasma berfrekuensi radio (RF-PECVD). Penyelidikan ini mengkaji kesan kuasa frekuensi radio (RF) yang berbeza (50, 60, 70, 80 dan 90 W) semasa rawatan plasma untuk mengenal pasti kuasa RF yang optimum dalam meningkatkan fungsi kain kasa sebagai pembalut luka yang ditentukan oleh sifat permukaan fabrik tersebut. Mikroskop elektron pengimbasan pancaran medan (FESEM) dan spektroskopi transformasi Fourier inframerah (FTIR) masing-masing telah digunakan untuk mengkaji morfologi dan ikatan kimia sampel tanpa rawatan dan sampel dengan rawatan plasma nitrogen. Imej daripada FESEM menunjukkan struktur gentian kain beralur dengan rekahan mikro pada semua permukaan sampel yang dirawat. Rekahan mikro yang paling ketara diperhatikan pada sampel yang dirawat dengan kuasa RF 50 W, 60 W dan 70 W. Spektrum FTIR menunjukkan terdapat peningkatan keamatan kumpulan berfungsi O-H dan C-O untuk sampel dengan rawatan plasma berbanding tanpa rawatan. Sampel yang dirawat dengan RF 70 W mempunyai kumpulan berfungsi C-N dan N-H dengan keamatan tertinggi. Kumpulan berfungsi tersebut berupaya menyumbang kepada peningkatan potensi kelekatan sel, kebolehbasaan dan biokeserasian fabrik. Kajian ini menunjukkan bahawa kesan kuasa RF semasa rawatan plasma nitrogen mampu mengubah suai sifat permukaan kain kasa seterusnya berpotensi meningkatkan fungsi fabrik tersebut sebagai pembalut luka.

Kata kunci: Kain kasa; kuasa RF; PECVD; penyahjerapan ion; punaran plasma

### ABSTRACT

Cotton gauze wound dressings used in wound management have been found incapable of maintaining an optimal environment for wound healing. To address this issue, non-thermal nitrogen plasma treatment was applied to gauze wound dressings using a radio frequency plasma enhanced chemical vapor deposition (RF-PECVD) system. This research investigates the effects of different radio frequency (RF) power levels (50, 60, 70, 80, and 90 W) during plasma treatment to identify the optimal RF power for enhancing the functionality of gauze as wound dressings, as determined by the fabric's surface properties. Field emission scanning electron microscopy (FESEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) were used to study the morphology and chemical bonds of untreated and nitrogen plasma-treated samples, respectively. The FESEM images showed a grooved fiber structure with micro-cracks on all treated surfaces. The most pronounced micro-cracks were observed on samples treated with RF power levels of 50 W, 60 W, and 70 W. The FTIR spectra indicated an increase in the intensity of O-H and C-O functional groups in plasma-treated samples compared to untreated ones. Sample treated at 70 W RF power exhibited the highest intensity of C-N and N-H functional groups. These functional groups contribute to increased cell adhesion potential, wettability, and biocompatibility of the fabric. This study demonstrates that the effect of RF power during nitrogen plasma treatment can modify the surface properties of gauze, potentially increasing its function as wound dressing.

Keywords: Cotton gauze; ion desorption; PECVD; plasma etching; RF power

## PENGENALAN

Pengurusan luka kronik boleh dilakukan dengan menggunakan pembalut luka moden. Kebanyakan pembalut luka moden dicipta khas untuk mengekalkan persekitaran permukaan luka yang optimum dan telah menunjukkan kebolehan yang lebih baik dalam penyembuhan luka kronik berbanding pembalut luka tradisional (de los Arcos et al. 2023). Pembalut luka moden membolehkan migrasi sel yang cekap, memulihkan sel yang rosak dan meningkatkan kadar penyembuhan luka. Namun, pembalut luka moden ini adalah sangat mahal berbanding dengan pembalut luka tradisional seperti pembalut luka kain kasa. Selain itu, penilaian dan pemilihan terperinci serta rumit diperlukan untuk memilih pembalut luka yang sesuai kerana pembalut luka moden mempunyai jenis, ciri dan fungsi yang berbeza untuk aplikasi pada luka tertentu.

Selain daripada kos yang berkesan, pembalut luka yang ideal seharusnya mempunyai ciri yang boleh melindungi luka daripada jangkitan, mengekalkan kelembapan dan membantu penyembuhan luka (Kordestani 2019). Selain itu, bahan tersebut seharusnya mempunyai kebolehtelapan udara yang tinggi untuk membolehkan pertukaran gas antara pada luka tertentu (Dhivya, Padma & Santhini 2015).

Pembalut luka kain kasa biasanya digunakan untuk pengurusan luka pasif kerana kosnya yang murah dan mudah digunakan. Pembalut luka kain kasa tradisional terdiri daripada fabrik bertenun atau tanpa tenun yang mempunyai kebolehtelapan cecair dan kebolehtelapan udara yang tinggi serta boleh terbiodegradasi (He et al. 2022). Dalam kes luka kronik yang menghasilkan eksudat luka yang banyak, ciri hidrofilik bahan ini menjadikannya mampu membersihkan eksudat luka dengan baik. Namun, dalam pengurusan luka dengan kandungan eksudat luka yang tinggi, kain kasa ini tidak mampu untuk mengekalkan kelembapan dan kestabilan permukaan luka. Penyerapan eksudat yang tinggi memerlukan pertukaran pembalut luka yang kerap, menjadikannya tidak sesuai untuk rawatan luka kronik. Selain itu, pembalut luka kain kasa cenderung untuk menyerap cecair secara berlebihan pada luka dan menyebabkan pengeringan pada permukaan kulit yang mengganggu proses penyembuhan. Oleh itu, fabrik ini tidak sesuai untuk penggunaan jangka masa panjang. Selain itu, pembalut luka kain kasa mempunyai fungsi bioaktif yang terhad untuk merangsang penyembuhan luka. Maka, fabrik ini biasanya digunakan sebagai pembalut luka sekunder sahaja dalam pengurusan luka kronik kerana ia hanya memberikan sokongan mekanik yang minimum dan tidak mempunyai kesan terapeutik (Borda, Macquhae & Kirsner 2016).

Pransilp et al. (2016) mengkaji kesan rawatan plasma yang berbeza (plasma nitrogen, oksigen dan sulfur heksafluorida) ke atas permukaan fabrik kapas.

Namun, antara tiga plasma tersebut, plasma nitrogen memberi kesan paling minimum kepada topografi fabrik. Beliau juga mendapati rawatan plasma nitrogen mampu memperkenalkan kumpulan berfungsi baharu, C-N dan O = C-NH, pada permukaan fabrik. Kumpulan berfungsi tersebut dapat meningkatkan sifat hidrofilik dan tenaga permukaan fabrik tersebut dan membawa kepada peningkatan sifat kebolehtelapan dan lekatan fabrik.

Berdasarkan kajian lain, plasma nitrogen juga dapat meningkatkan kumpulan berfungsi sedia ada dan memperkenalkan kumpulan berfungsi baharu berunsur nitrogen seperti amina (-NH) (Abd Aziz & Awang 2020; Awang, Purhanudin & Salman 2018; Prysiazhnyi et al. 2013). Kumpulan berfungsi ini boleh bertindak sebagai tapak untuk meningkatkan lekatan agen bioaktif seperti ubatan pada permukaan fabrik untuk dikenakan ke atas permukaan luka. Agen tersebut boleh meningkatkan sifat antibakteria dan memberikan kesan terapeutik untuk pembalut luka (Shahidi et al. 2010). Rawatan plasma adalah kaedah yang berpotensi, mesra alam dan berkesan untuk pengubahsuaian permukaan pelbagai bahan yang sensitif terhadap haba seperti polimer dan tekstil (John & Anandjiwala 2009; Vajpayee et al. 2021).

Maka, kajian ini dilakukan untuk mengubah suai sifat permukaan pembalut luka kain kasa dengan rawatan plasma nitrogen menggunakan teknik pemendapan wap kimia secara peningkatan plasma berfrekuensi radio (RF-PECVD). Kemudian, pengaruh kuasa RF terhadap morfologi dan sifat kimia permukaan kain pembalut luka dikaji untuk kesesuaiannya dalam peningkatan fungsi penyembuhan luka.

## BAHAN DAN KAEDAH

### BAHAN

Pembalut luka kain kasa bertenun yang dibeli daripada MyMedic Innovation Sdn. Bhd., Malaysia dipotong kepada dimensi 26 cm × 17 cm.

### KAEDAH UJI KAJI

Pembalut luka kain kasa dikenakan rawatan plasma nitrogen yang dijana oleh sistem RF-PECVD pada kuasa RF yang berbeza, iaitu 50 W, 60 W, 70 W, 80 W dan 90 W dengan kadar aliran gas nitrogen (keaslian 99%) yang tetap iaitu 20.0 sccm selama 20 minit. Plasma nitrogen berwarna merah jambu dijana seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Sifat morfologi permukaan dan kumpulan berfungsi sampel tanpa rawatan dan dirawat dengan plasma nitrogen masing-masing telah dicirikan menggunakan mikroskopi elektron pancaran medan (FESEM) dan spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR).

## HASIL DAN PERBINCANGAN

### ANALISIS MORFOLOGI PERMUKAAN

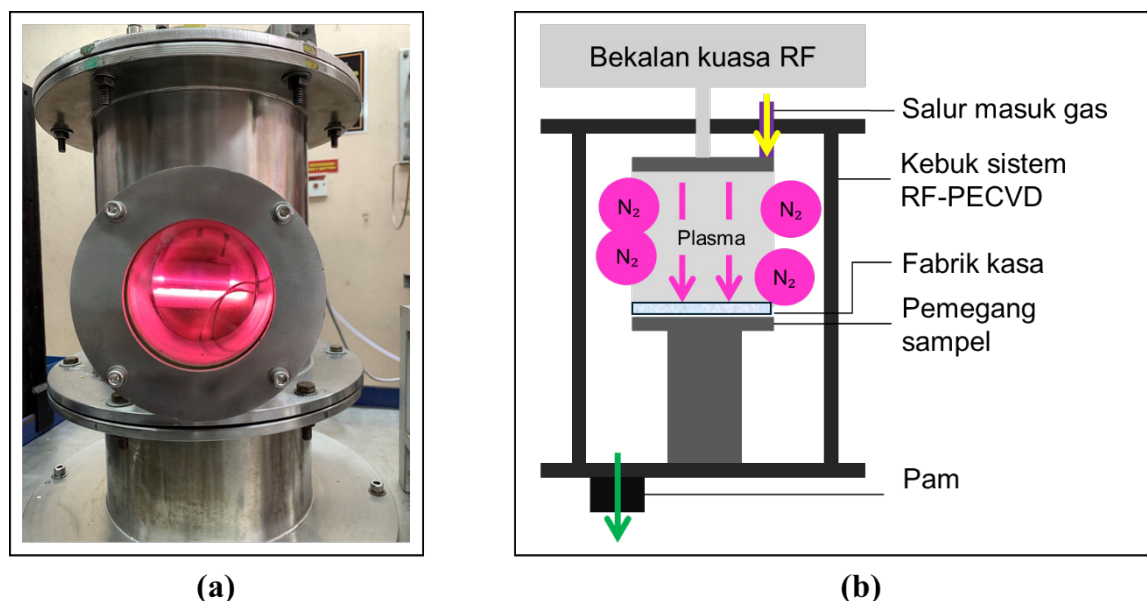
Rajah 2 menunjukkan morfologi sampel tanpa rawatan dan yang dirawat dengan plasma nitrogen pada kuasa RF yang berbeza (50, 60, 70, 80 dan 90 W) pada skala pembesaran 500 $\times$ . Morfologi sampel tanpa rawatan plasma nitrogen menunjukkan serat-serat bergentian dengan struktur permukaan gentian yang licin seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2(a). Setelah rawatan plasma, terdapat struktur rekahan mikro yang muncul pada permukaan sampel dan kesan ini paling jelas ditunjukkan dalam Rajah 2(b), 2(c) dan 2(d) iaitu masing-masing dirawat dengan kuasa RF 50 W, 60 W dan 70 W. Berbanding dengan sampel terawat yang lain, permukaan sampel tersebut mempunyai taburan struktur rekahan mikro yang tinggi dan ketara. Namun apabila kuasa RF ditingkatkan melebihi 70 W seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2(e) dan Rajah 2(f), struktur rekahan mikro menjadi kurang ketara. Walau bagaimanapun, permukaan sampel yang dirawat dengan kuasa RF 80 W dan 90 W ini masih mempunyai morfologi yang kelihatan lebih kasar berbanding dengan sampel tanpa rawatan. Ini menunjukkan bahawa rawatan plasma nitrogen menyebabkan perubahan morfologi pada permukaan sampel dan ia juga dipengaruhi oleh nilai kuasa RF yang diberikan semasa proses rawatan plasma.

Kesan perubahan morfologi disebabkan oleh peningkatan kuasa RF ini boleh dikaitkan dengan tenaga

dan pembedilan ion pada permukaan sampel. Peningkatan kuasa RF daripada 50 W hingga 70 W menyebabkan peningkatan tenaga pembedilan ion. Peningkatan tenaga pembedilan ini mengakibatkan pembentukan struktur rekahan mikro yang lebih jelas.

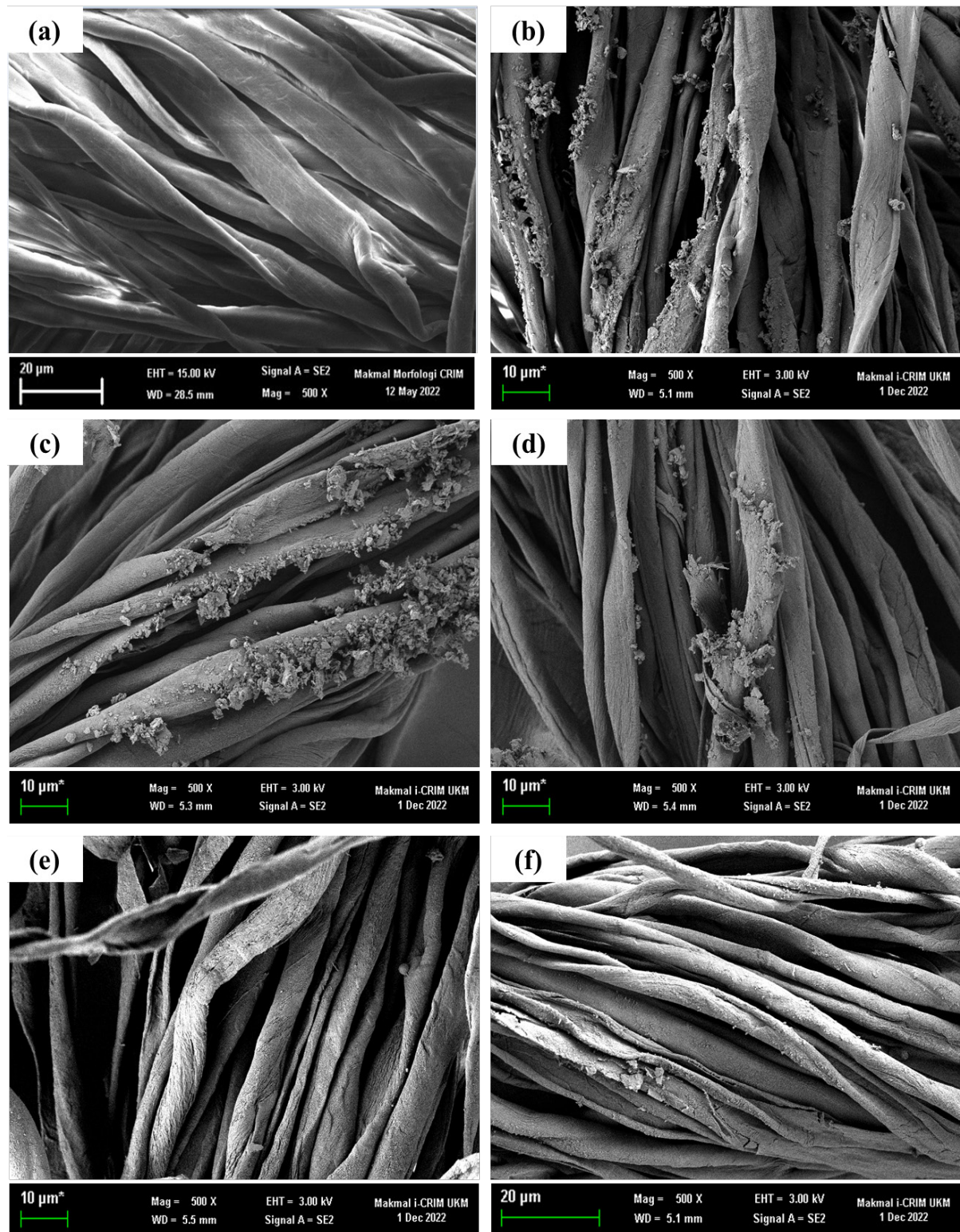
Pembentukan struktur tersebut disebabkan oleh kesan punaran plasma yang berlaku semasa rawatan plasma. Punaran plasma berlaku disebabkan oleh perlanggaran yang kuat antara plasma dan permukaan sampel (Naebe et al. 2016). Menurut Feng et al. (2020), perubahan morfologi meningkatkan kekasaran permukaan sampel. Pembentukan rekahan mikro pada permukaan sampel juga meningkatkan luas permukaan bahan yang seterusnya meningkatkan sifat lekatan sel (Cai et al. 2020).

Namun, apabila kuasa RF ditingkatkan melebihi 70 W, struktur rekahan mikro menjadi kurang jelas. Kesan yang bertentangan ini mungkin timbul disebabkan oleh ketidakstabilan plasma semasa berlakunya proses pembedilan ion. Menurut Jiang et al. (2021), apabila kuasa RF mencapai nilai ambang, boleh berlaku ketidakstabilan plasma semasa proses pembedilan ion. Melalui kajian ini, nilai ambang kuasa RF adalah 80 W. Peningkatan kuasa RF melebihi 80 W mencipta dinamik antara proses resapan dan proses punaran semasa rawatan plasma dijalankan. Fenomena ini menyebabkan ion lebih cenderung untuk meresap ke dalam sampel secara berkesan lalu mengekalkan struktur asal permukaan sampel tersebut.



RAJAH 1. (a) Gambar kebuk dan (b) rajah skematik sistem RF-PECVD





RAJAH 2. Imej FESEM pembalut luka kain kasa (a) tanpa rawatan dan dengan rawatan plasma nitrogen pada (b) 50 W, (c) 60 W, (d) 70 W, (e) 80 W dan (f) 90 W

## ANALISIS SIFAT KIMIA PERMUKAAN

Rajah 3(a) menunjukkan spektrum FTIR untuk sampel tanpa rawatan dan sampel dengan rawatan plasma nitrogen pada kuasa RF yang berbeza (50, 60, 70, 80 dan 90 W). Terdapat perbezaan yang ketara pada sifat kimia permukaan sampel tanpa rawatan dan sampel dengan plasma nitrogen. Sampel tanpa rawatan menunjukkan sifat selulosa yang merupakan komponen utama fabrik tersebut seperti regangan C-H pada nombor gelombang 2700 hingga 2900  $\text{cm}^{-1}$ , regangan O-H pada 3200 hingga 3500  $\text{cm}^{-1}$ , regangan C-O pada 1050 hingga 1310  $\text{cm}^{-1}$  dan regangan C-O-C pada 1040 hingga 1060  $\text{cm}^{-1}$  (Inbakumar et al. 2010; Kramar et al. 2018; Naebe et al. 2016). Selain itu, berdasarkan nombor gelombang 700–900  $\text{cm}^{-1}$ , fabrik tersebut juga terdiri daripada unit  $\beta$ -glukosa yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik  $\beta$ -1,4 (Fazeli, Florez & Simão 2019; Hong et al. 2021).

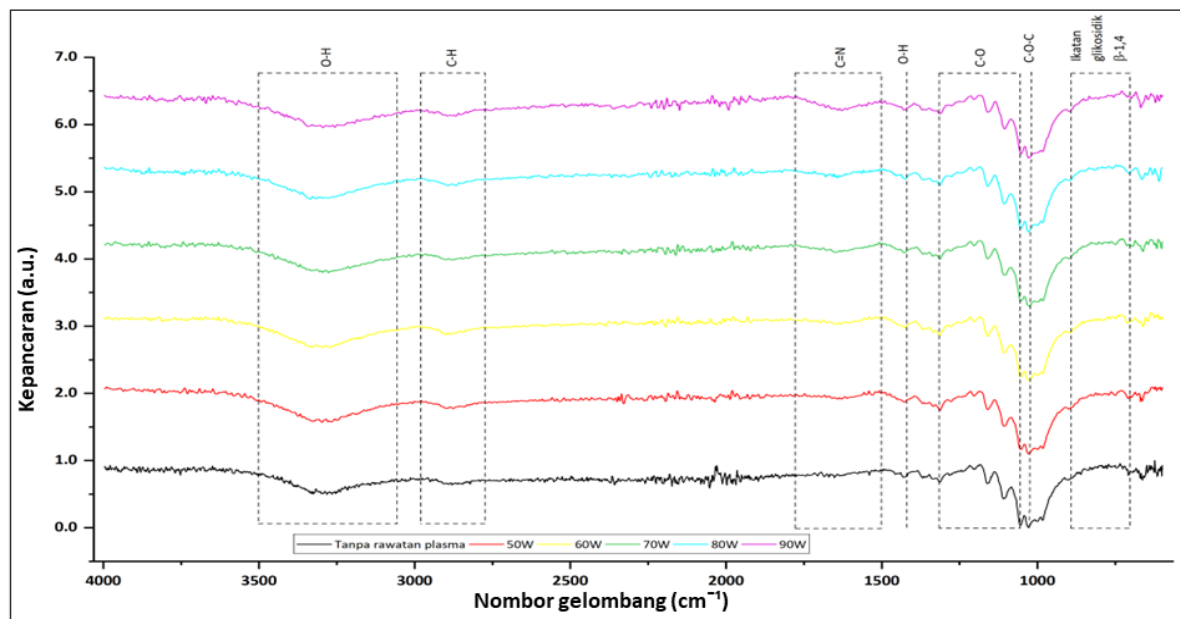
Secara keseluruhannya, semua sampel yang dirawat secara tekal menunjukkan keamatan kepancaran yang lebih tinggi berbanding dengan sampel yang tidak dirawat. Menurut Yilma, Luebben dan Tadesse (2021), berlaku pemindahan tenaga daripada plasma kepada permukaan sampel seterusnya membawa kepada pengaktifan permukaan sampel. Semasa rawatan plasma, fenomena pengaktifan permukaan berlaku apabila spesies plasma reaktif menghentam permukaan sampel dan memutuskan ikatan kovalennya. Ini menghasilkan radikal bebas pada permukaan sampel yang berinteraksi dengan spesies plasma aktif untuk membentuk dan meningkatkan kumpulan berfungsi pada permukaan sampel yang dirawat. Akibatnya, berlaku pemindahan tenaga mengaruh tindak balas kimia pada permukaan sampel dan meningkatkan kereaktifan bahan. Menurut Jelil (2015), kereaktifan tersebut membawa kepada pembentukan kumpulan berfungsi baharu, pemecahan ikatan sedia ada dan pengenalan spesies asing ke atas permukaan bahan. Pengaktifan permukaan mengubah sifat permukaan serta aktiviti kimia sampel (Mowafi, Abou Taleb & El-Sayed 2022). Oleh itu, peningkatan sifat kimia permukaan fabrik dalam kajian ini menunjukkan keberkesanan rawatan plasma nitrogen dalam meningkatkan fungsi kimia permukaan fabrik.

Peningkatan keamatan kepancaran pada julat nombor gelombang 1500 hingga 1800  $\text{cm}^{-1}$  dikaitkan dengan pertindihan pembengkokan N-H dan regangan C=N, manakala regangan N-H dikaitkan pada julat 2700–2900  $\text{cm}^{-1}$ . Keputusan ini menunjukkan hasil yang serupa dengan kajian pada kain kapas oleh Zhou et al. (2016). Selain itu, pengenalan kumpulan nitrogen pada permukaan sampel terawat juga jelas pada julat nombor gelombang 1000 hingga 1400  $\text{cm}^{-1}$  dan 3000 hingga 3500  $\text{cm}^{-1}$ . Menurut Rashidi et al. (2013), peningkatan ketara dalam keamatan kepancaran pada julat tersebut masing-masing dikaitkan dengan pertindihan ikatan

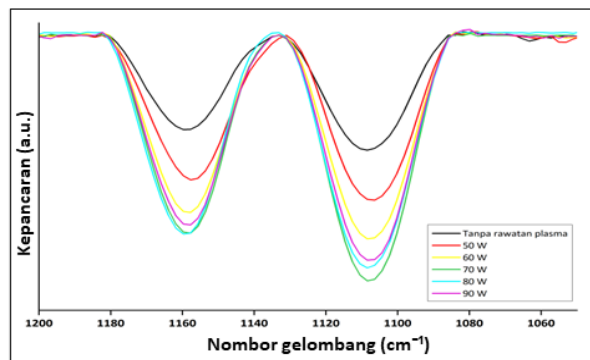
sedia ada, khususnya regangan C–O sedia ada dengan regangan C–N yang baharu diperkenalkan (julat 1000 hingga 1400  $\text{cm}^{-1}$ ) regangan O–H sedia ada dengan regangan N–H yang baharu diperkenalkan (julat 3000 hingga 3500  $\text{cm}^{-1}$ ). Eswaramoorthy dan McKenzie (2017) menyatakan rawatan plasma ke atas fabrik mengaktifkan permukaan fabrik dan memudahkan ikatan kovalen terbentuk antara molekul terapeutik pada permukaan fabrik dengan permukaan luka yang berpotensi meningkatkan pelekatan sel dan mempercepatkan penyembuhan luka.

Keamatan kumpulan berfungsi dan ikatan kimia pada sampel yang dirawat bergantung kepada bekalan kuasa RF yang dikenakan semasa rawatan plasma dijalankan. Sampel RF 70 W menunjukkan keamatan kumpulan berfungsi C-N (puncak 1150  $\text{cm}^{-1}$ ) dan N-H (julat 3100–3500  $\text{cm}^{-1}$ ) (Abd Aziz & Awang 2020; Awang, Purhanudin & Salman 2018) yang paling tinggi berbanding dengan semua sampel lain (tidak dirawat dan dirawat), seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3(b) dan 3(c). Secara umumnya, kuasa RF yang tinggi menghasilkan ion, elektron dan radikal yang lebih bertenaga dalam plasma. Peningkatan kuasa RF melebihi 70 W mempunyai kesan yang minimum terhadap kumpulan berfungsi pada permukaan sampel kerana peningkatan kadar penyahjerapan ion yang meningkat semasa rawatan plasma nitrogen. Kesan tersebut dibincangkan oleh Jiang et al. (2021). Apabila kuasa RF ditingkatkan melebihi kuasa ambang tertentu, tenaga kinetik ion yang membedil permukaan sampel meningkat. Tenaga yang lebih tinggi ini mengatasi ikatan kimia yang mengekalkan kumpulan berfungsi pada rangka sampel dan menyebabkan ia terputus. Oleh itu, keamatan kumpulan berfungsi mula berkurangan pada permukaan sampel akibat daripada pembedilan bertenaga tinggi ini. Kesan ini dapat dilihat melalui pengurangan populasi kumpulan berfungsi siano (-CN) dan amina (-NH) yang ditunjukkan oleh sampel yang dirawat dengan kuasa RF 80 W dan 90 W.

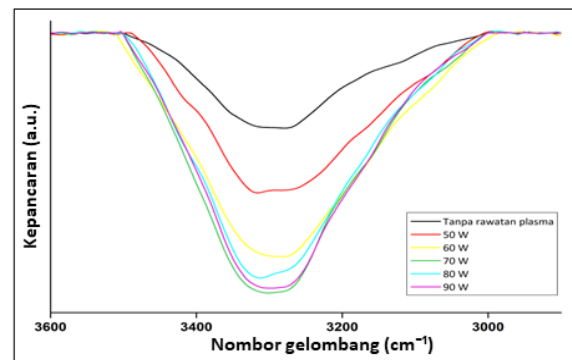
Melalui kajian ini, rawatan plasma nitrogen telah meningkatkan bilangan kumpulan berpolar pada permukaan pembalut luka kain kasa seperti kumpulan amina (-NH) dan siano (-CN). Molekul reaktif plasma juga mengubah suai permukaan fabrik dengan mengubah komposisi ikatan kimia dan mencipta lebih banyak kumpulan berfungsi seperti -OH dan -COOH. Kumpulan berfungsi tersebut bersifat hidrofilik yang berperanan untuk meningkatkan kebolehasahan bahan (Feng et al. 2020; Zanini et al. 2015). Kebolehasahan fabrik yang tinggi boleh meningkatkan bilangan protein yang boleh diserap pada permukaan fabrik seterusnya menggalakkan penyembuhan luka (Cai et al. 2020). Selain itu, kumpulan berfungsi bersifat nitrogen juga dilaporkan mampu meningkatkan kadar lekatan dan penumbuhan sel yang penting dalam penyembuhan luka



(a)



(b)



(c)

RAJAH 3. (a) Spektrum FTIR bagi pembalut luka kain kasa tanpa rawatan dan dengan rawatan plasma, serta julat nombor gelombang khusus untuk pembentukan kumpulan berfungsi (b) C-N ( $1000$  hingga  $1200$   $\text{cm}^{-1}$ ) dan (c) N-H ( $3000$ - $3500$   $\text{cm}^{-1}$ )

(Luna et al. 2011). Fenomena lekatan sel melibatkan interaksi antara sel luka dan bahan pembalut luka boleh mempengaruhi penumbuhan sel yang terlibat dalam proses penyembuhan luka. Menurut Mather (2009), kumpulan berfungsi yang diperkenalkan melalui rawatan plasma bukan sahaja bertindak sebagai tapak aktif untuk pelbagai molekul biologi, dan meningkatkan biokompatibiliti fabrik, tetapi juga berfungsi sebagai molekul bioaktif yang merangsang pelekatan sel yang kuat dan penyebaran eksudat luka yang sekata pada permukaan bahan pembalut luka. Menurut Siow et al. (2020) pula, bahan berasaskan nitrogen adalah agen antibakteria yang baik untuk menggalakkan pelekatan sel dan biokompatibiliti untuk pelbagai aplikasi bahan bio. Maka rawatan plasma nitrogen yang dilakukan mampu meningkatkan fungsi penyembuhan pembalut luka.

#### KESIMPULAN

Pembalut luka kain kasa telah berjaya dirawat dengan plasma nitrogen menggunakan teknik RF-PECVD. Kesan rawatan plasma nitrogen terhadap morfologi dan sifat ikatan kimia telah dikaji. Fabrik pembalut luka mengalami kesan punaran plasma setelah rawatan plasma dikenakan dan keamatan kesan tersebut bergantung kepada kuasa RF yang dibekalkan. Morfologi pembalut luka kain kasa yang dirawat dengan plasma nitrogen menghasilkan struktur rekahan mikro pada permukaannya. Struktur ini meningkatkan luas permukaan dan menyediakan lebih banyak tapak lekatan sel berbanding dengan pembalut luka kain kasa tanpa rawatan. Hasil kajian ini juga menunjukkan bahawa rawatan plasma nitrogen mampu meningkatkan kumpulan berfungsi sedia ada dan memperkenalkan



kumpulan berfungsi bersifat nitrogen (-CN dan -NH) yang baharu pada permukaan fabrik. Dalam kajian ini, sampel yang dirawat pada kuasa RF 70 W menunjukkan mikrostruktur yang kasar dengan saiz taburan struktur rekahan mikro yang ketara dan kumpulan -CN dan -NH yang paling tinggi. Oleh itu, dalam kajian ini, kuasa RF 70 W merupakan kuasa optimum untuk rawatan plasma nitrogen ke atas fabrik pembalut luka.

#### PENGHARGAAN

Kami mengucapkan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia atas sokongan teknikal dan Kementerian Pengajian Tinggi (KPT) atas geran TGRS/1/2019/UKM/02/1/2.

#### RUJUKAN

- Abd Aziz, S.A. & Awang, R. 2020. Chemical bonding composition and growth mechanism of a-CN<sub>x</sub> thin films by low-Temperature rf-PECVD technique. *Sains Malaysiana* 49(6): 177-184. doi:10.17576/jsm-2020-4906-24
- Awang, R., Purhanudin, N. & Salman, N.S. 2018. Effect of radio frequency power on A-CN X film properties and its performance as humidity sensors. *Sains Malaysiana* 47(11): 2863-2867. doi:10.17576/jsm-2018-4711-29
- Borda, L.J., Macquhae, F.E. & Kirsner, R.S. 2016. Wound dressings: A comprehensive review. *Current Dermatology Reports* 5(4): 287-297. doi:10.1007/s13671-016-0162-5
- Cai, S., Wu, C., Yang, W., Liang, W., Yu, H. & Liu, L. 2020. Recent advance in surface modification for regulating cell adhesion and behaviors. *Nanotechnology Reviews* 9(1): 971-989. doi:10.1515/ntrev-2020-0076
- de los Arcos, T., Awakowicz, P., Benedikt, J., Biskup, B., Böke, M., Boysen, N., Buschhaus, R., et al. 2023. PECVD and PEALD on polymer substrates (part I): Fundamentals and analysis of plasma activation and thin film growth. *Plasma Processes and Polymers* 21(2): 2300150. doi:10.1002/ppap.202300150
- Dhivya, S., Padma, V.V. & Santhini, E. 2015. Wound dressings - A review. *BioMedicine (Netherlands)* 5(4): 24-28. doi:10.7603/s40681-015-0022-9
- Eswaramoorthy, N. & McKenzie, D.R. 2017. Plasma treatments of dressings for wound healing: A review. *Biophysical Reviews* 9(6): 895-917. doi:10.1007/s12551-017-0327-x
- Fazeli, M., Florez, J.P. & Simão, R.A. 2019. Improvement in adhesion of cellulose fibers to the thermoplastic starch matrix by plasma treatment modification. *Composites Part B: Engineering* 163: 207-216. doi:10.1016/j.compositesb.2018.11.048
- Feng, C., Hu, Y., Jin, C., Zhuge, L., Wu, X. & Wang, W. 2020. The effect of atmospheric pressure glow discharge plasma treatment on the dyeing properties of silk fabric. *Plasma Science and Technology* 22(1): 015503. doi:10.1088/2058-6272/ab4c4e
- He, H., Zhou, W., Gao, J., Wang, F., Wang, S., Fang, Y., Gao, Y., Chen, W., Zhang, W., Weng, Y., Wang, Z. & Liu, H. 2022. Efficient, biosafe and tissue adhesive hemostatic cotton gauze with controlled balance of hydrophilicity and hydrophobicity. *Nature Communications* 13: 552. doi:10.1038/s41467-022-28209-8
- Hong, T., Yin, J.Y., Nie, S.P. & Xie, M.Y. 2021. Applications of infrared spectroscopy in polysaccharide structural analysis: Progress, challenge and perspective. *Food Chemistry: X* 12(November): 100168. doi:10.1016/j.fochx.2021.100168
- Inbakumar, S., Morent, R., de Geyter, N., Desmet, T., Anukaliani, A., Dubruel, P. & Leys, C. 2010. Chemical and physical analysis of cotton fabrics plasma-treated with a low pressure DC glow discharge. *Cellulose* 17(2): 417-426. doi:10.1007/s10570-009-9369-y
- Jelil, R.A. 2015. A review of low-temperature plasma treatment of textile materials. *Journal of Materials Science* 50: 5913-5943. doi:10.1007/s10853-015-9152-4
- Jiang, X., Wu, L., Yang, K., Liu, T., Liao, W., Zhang, C., Zhang, L., Liu, Y. & Jiang, X. 2021. Kinetic etch front instability responsible for roughness formation in plasma etching. *Applied Surface Science* 543: 148862. doi:10.1016/j.apsusc.2020.148862
- John, M.J. & Anandjiwala, R.D. 2009. Surface modification and preparation techniques for textile materials. In *Surface Modification of Textiles*, edited by Wei, Q. Woodhead Publishing. hlm. 1-25. doi:10.1533/9781845696689.1
- Kordestani, S.S. 2019. Wound Care Management. *Atlas of Wound Healing*. Elsevier Inc. hlm. 31-47.
- Kramar, A.D., Obradović, B.M., Vesel, A., Kuraica, M.M. & Kostić, M.M. 2018. Surface cleaning of raw cotton fibers with atmospheric pressure air plasma. *Cellulose* 25(7): 4199-4209. doi:10.1007/s10570-018-1820-5
- Luna, S.M., Silva, S.S., Gomes, M.E., Mano, J.F. & Reis, R.L. 2011. Cell adhesion and proliferation onto chitosan-based membranes treated by plasma surface modification. *Journal of Biomaterials Applications* 26(1): 101-116. doi:10.1177/0885328210362924
- Mather, R.R. 2009. Surface modification of textiles by plasma treatments. *Surface Modification of Textiles*. Woodhead Publishing Limited. doi:10.1533/9781845696689.296
- Mowafi, S., Abou Taleb, M. & El-Sayed, H. 2022. A review of plasma-assisted treatments of textiles for eco-friendlier water-less processing. *Egyptian Journal of Chemistry* 65(5): 737-749. doi:10.21608/EJCHEM.2022.123590.5520
- Naebe, M., Li, Q., Onur, A. & Denning, R. 2016. Investigation of chitosan adsorption onto cotton fabric with atmospheric helium/oxygen plasma pre-treatment. *Cellulose* 23(3): 2129-2142. doi:10.1007/s10570-016-0915-0
- Pransilp, P., Pruettiphap, M., Bhanthumnavin, W., Paosawatyanong, B. & Kiatkamjornwong, S. 2016. Surface modification of cotton fabrics by gas plasmas for color strength and adhesion by inkjet ink printing. *Applied Surface Science* 364: 208-220. doi:10.1016/j.apsusc.2015.12.102

- Prysiashnyi, V., Kramar, A., Dojcinovic, B., Zekic, A., Obradovic, B.M., Kuraica, M.M. & Kostic, M. 2013. Silver incorporation on viscose and cotton fibers after air, nitrogen and oxygen DBD plasma pretreatment. *Cellulose* 20(1): 315-325. doi:10.1007/s10570-012-9817-y
- Rashidi, A., Shahidi, S., Ghoranneviss, M., Dalalsharifi, S. & Wiener, J. 2013. Effect of plasma on the zeta potential of cotton fabrics. *Plasma Science and Technology* 15(5): 455-458. doi:10.1088/1009-0630/15/5/12
- Shahidi, S., Rashidi, A., Ghoranneviss, M., Anvari, A., Rahimi, M.K., Moghaddam, M.B. & Wiener, J. 2010. Investigation of metal absorption and antibacterial activity on cotton fabric modified by low temperature plasma. *Cellulose* 17(3): 627-634. doi:10.1007/s10570-010-9400-3
- Siow, K.S., Abdul Rahman, A.S., Ng, P.Y. & Majlis, B.Y. 2020. Sulfur and nitrogen containing plasma polymers reduces bacterial attachment and growth. *Materials Science and Engineering C* 107: 110225. doi:10.1016/j.msec.2019.110225
- Vajpayee, M., Singh, M. & Ledwani, L. 2021. Non-thermal plasma treatment of cellulosic biopolymer to enhance its surface property for various applications: A review. *Materials Today: Proceedings* 43: 3250-3255. doi:10.1016/j.matpr.2021.01.905
- Yilma, B.B., Luebben, J.F. & Tadesse, M.G. 2021. Effect of plasma surface modification on comfort properties of polyester/cotton blend fabric. *Materials Research* 24(3). doi:10.1590/1980-5373-MR-2021-0021
- Zanini, S., Grimoldi, E., Citterio, A. & Riccardi, C. 2015. Characterization of atmospheric pressure plasma treated pure cashmere and wool/cashmere textiles: Treatment in air/water vapor mixture. *Applied Surface Science* 349: 235-240. doi:10.1016/j.apsusc.2015.05.010
- Zhou, C.E., Kan, C.W., Yuen, C.W.M., Lo, K.Y.C., Ho, C.P. & Lau, K.W.R. 2016. Regenerable antimicrobial finishing of cotton with nitrogen plasma treatment. *BioResources* 11(1): 1554-1570. doi:10.15376/biores.11.1.1554-1570

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: rozida@ukm.edu.my