



Jenis Artikel: *original research/review article*

Optimasi Serat Selulosa Asetat/Gelatin/Ekstrak Bajakah (*Spatholobus littoralis Hassk*) menggunakan Pemintalan Elektrik (*Electrospinning*)

Fuji Hernawati Kusumah¹, Sri Hartati², Arramel², Alfian Noviyanto³, Akmal Zulfi⁴, Nurul Taufiqu Rochman², dan Khairurrijal⁵

¹Prodi Tadris Fisika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

²Nanotech Indonesia Global, Banten

³Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana Jakarta

⁴Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional Bandung

⁵Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung

Corresponding e-mail: fujikusumah@uinjkt.ac.id

KATA KUNCI:

electrospinning,
nanoserat, bajakah
(*Spatholobus*
littoralis Hassk)

Diterima: 26 Juni 2022

Direvisi: 08 Juli 2022

Diterbitkan: 30 Juli 2022

ABSTRAK. Pemintalan elektrik (*electrospinning*) merupakan metode produksi serat yang efektif dan efisien, yang dapat menggunakan berbagai jenis material dan dimanfaatkan untuk beragam aplikasi, salah satunya sebagai media penghantar. Bajakah (*Spatholobus littoralis Hassk*) merupakan tanaman asli Indonesia yang tinggi akan zat antioksidan dan anti inflamasi. Pada penelitian ini, ekstrak etanolik bajakah diinkorporasikan ke dalam serat selulosa asetat (SA)/gelatin dengan memvariasikan perbandingan volume larutan polimer (SA/gelatin) terhadap larutan ekstrak bajakah (8:1, 6:1, 4:1, dan 2:1). Berdasarkan hasil *electrospinning* diperoleh bahwa hanya larutan prekursor SA/gelatin 2:1 yang tidak dapat menghasilkan serat. Hasil analisis data karakterisasi SEM menunjukkan bahwa larutan prekursor SA/gelatin dan SA/gelatin/bajakah 8:1, 6:1, 4:1 berturut-turut menghasilkan serat dengan ukuran rata-rata sebesar 1548, 1509, 1377, dan 1079 nm. Uji kadar ekstrak bajakah menggunakan UV-Vis menunjukkan bahwa ekstrak bajakah berhasil diinkorporasikan dalam serat SA/gelatin.

1. Pendahuluan

Pemintalan elektrik (*electrospinning*) digunakan untuk memproduksi berbagai material berukuran nanometer dengan memanfaatkan gaya *Coulomb* antarmuatan atau ion pada permukaan suatu larutan polimer, sehingga ketika dikenai tegangan listrik yang sangat tinggi, larutan polimer ini dapat tertarik menuju kolektor dan membentuk serat (Lu dkk., 2016). Metode ini banyak dipilih karena prosesnya relatif lebih mudah dan murah, bahan yang dapat digunakan lebih bervariasi, dapat menghasilkan serat dengan jumlah banyak dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan metode penghasil serat lainnya (Lu dkk., 2016 dan Ramakrishna dkk., 2005). Morfologi dan ukuran serat yang dihasilkan metode ini dapat diatur dengan mudah dengan mengubah parameter alat, atau dengan mengubah parameter larutan polimer (Konwarh dkk., 2013). Hal-hal tersebut mendorong banyaknya aplikasi pemintalan elektrik, di antaranya untuk rekayasa jaringan, sistem penghantar obat, sensor, solar sel, dan membran filtrasi, superkapasitor, dan baterai litium-ion (Ramakrishna dkk., 2006). Dengan beragam aplikasi tersebut, morfologi dan struktur serat yang dihasilkan pemintalan elektrik ini pun dapat disesuaikan dengan berbagai keperluan, seperti serat tunggal (*single rounded fiber*), serat berbola (*beaded fiber*), serat berpori (*porous fiber*), atau serat koaksial (*core-shell fiber*) (Ramakrishna dkk., 2005). Serat yang dihasilkan pemintalan elektrik banyak digunakan sebagai media penghantar obat (Weng dan Xie, 2015), protein atau DNA untuk terapi genetik (Zhang dkk., 2006), serta nanopartikel dan vitamin untuk penutup luka (Wei dkk., 2016).

Polimer yang digunakan pada penelitian ini adalah gelatin dan selulosa asetat karena keduanya bersifat biocompatible, biodegradable, dan tidak beracun bagi tubuh (Hu dkk., 2014). Sementara itu, ekstrak tanaman yang akan digunakan pada serat hasil pemintalan elektrik ini adalah ekstrak Bajakah (*Spatholobus littoralis Hassk*) yang diambil dari bagian akar. Bajakah merupakan tanaman yang banyak terdapat di Kalimantan, Indonesia. Bajakah memiliki aktivitas anti inflamatori yang baik, sehingga berpotensi untuk mempercepat penyembuhan luka (Ariesanti dkk., 2021). Selain itu, ekstrak Bajakah diketahui memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi dengan adanya fenol dan flavonoid, juga mengandung alkaloid, saponin, dan tanin (Iskandar dan Warsidah, 2020). Hingga saat ini, penelitian mengenai ekstrak Bajakah di Indonesia masih terbatas, padahal potensi pemanfaatannya tinggi. Hal ini dapat dilihat dari tingginya aktivitas antioksidan ekstrak Bajakah. Di Indonesia sendiri, untuk terapi berbagai penyakit, pada umumnya masyarakat mengonsumsi ekstrak Bajakah dengan cara mendidihkannya menggunakan air lalu diminum. Selain itu, dapat pula ditumbuk/dihaluskan kemudian dicampur menggunakan sedikit air, lalu dibalurkan pada area yang bermasalah (luka atau sakit). Padahal, penggunaan dengan cara dibalurkan langsung pada area yang sakit atau area luka tidak direkomendasikan karena dikhawatirkan dapat memperparah luka karena konsentrasi berlebihan. Dengan memanfaatkan serat hasil pemintalan elektrik, ekstrak Bajakah yang memiliki aktivitas anti inflamasi dan anti oksidan tinggi ini sangat mungkin diinkorporasikan ke dalam serat yang selanjutnya bisa dimanfaatkan untuk rekayasa jaringan (*tissue scaffolding*) atau sebagai penutup luka (*wound dressing*). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan optimasi sintesis serat selulosa asetat/gelatin menggunakan pemintalan elektrik sebagai media penghantar ekstrak batang Bajakah, sebelum dilakukan studi lanjut mengenai pemanfaatan serat selulosa asetat/gelatin/ekstrak bajakah.

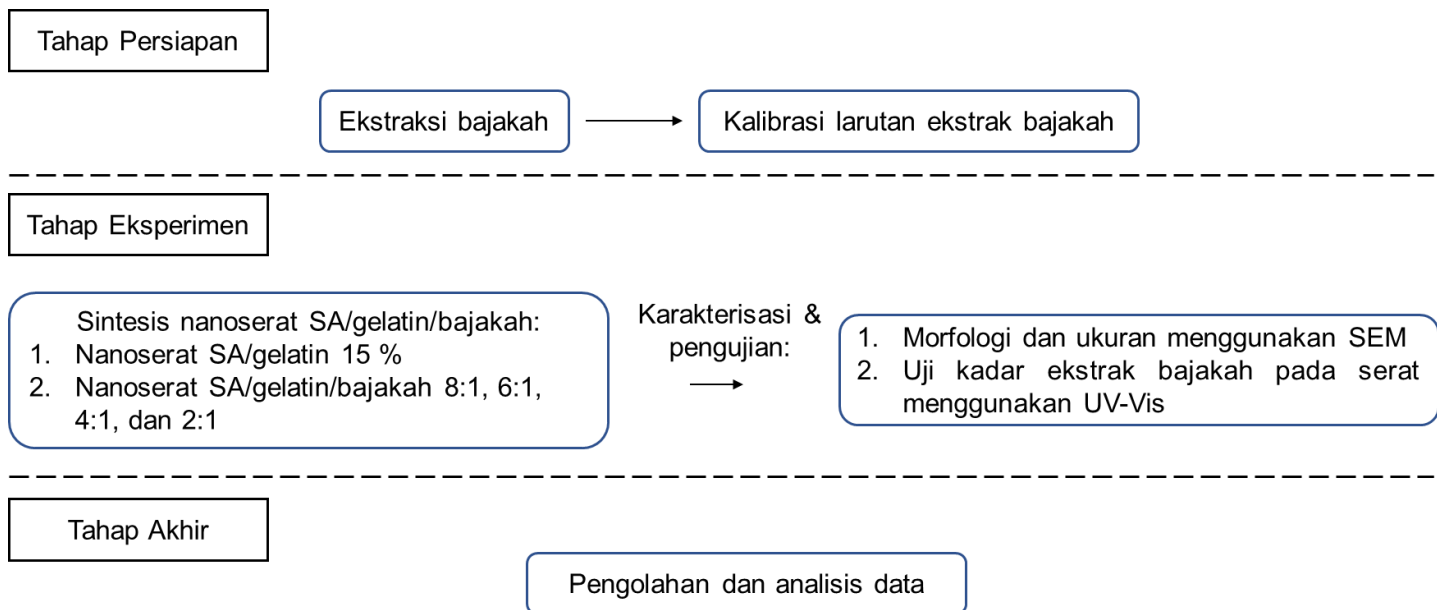
2. Metode

Secara umum, penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap eksperimen, dan tahap akhir, seperti dirangkum pada bagan Gambar 1.

2.1 Material dan Bahan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang bajakah tampala merah (*Spatholobus littoralis Hassk*) yang dibeli dari pengepul lokal di Kalimantan Tengah, *bovine gelatin* (*Sigma Aldrich*, USA) atau gelatin yang terbuat dari sapi, dan selulosa asetat (*Sigma Aldrich*, USA) dengan berat molekul rata-rata $M_n \sim 50000$ dan kandungan asetil sebesar 39.2 - 40.2%. Pelarut asam asetat glasial (*Merck*) digunakan untuk melarutkan campuran gelatin dan selulosa asetat, etanol absolut (*Merck*) untuk kalibrasi ekstrak bajakah dan pengukuran

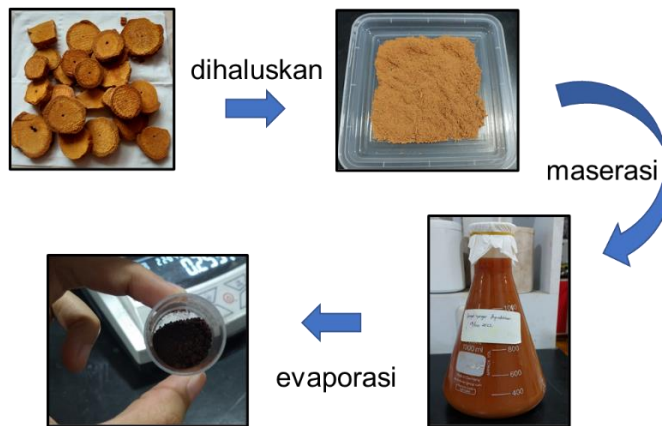
kadar ekstrak bajakah dalam serat selulosa asetat/gelatin, dan etanol teknis sebagai pelarut pada proses maserasi ekstrak bajakah.



Gambar 1. Bagan tahap penelitian.

2.2 Proses Pembuatan Ekstrak Bajakah

Proses ekstraksi bajakah ditunjukkan pada Gambar 2. Akar bajakah dipotong kecil-kecil lalu dijemur di bawah sinar matahari selama beberapa hari hingga kering, kemudian dihancurkan hingga berbentuk serbuk kasar. Setelah itu, sebanyak 250 gram serbuk kasar bajakah ini direndam menggunakan etanol teknis (96%). Cairan pelarut yang sudah pekat dikumpulkan dalam suatu wadah secara terus-menerus hingga diperoleh cairan bening. Seluruh cairan hasil maserasi disaring menggunakan kertas saring (*Whatman No.1*), lalu diuapkan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 50°C sampai diperoleh ekstrak bajakah berbentuk pasta. Terakhir, pasta ekstrak bajakah ini kemudian dikeringkan lagi di dalam desikator hingga terbentuk ekstrak berbentuk granula kasar.



Gambar 2. Proses pembuatan ekstrak bajakah.

Ekstrak bajakah dilarutkan dalam etanol absolut (*Merck*) dengan variasi konsentrasi 80, 100, 120, 140, 160, dan 180 ppm, lalu diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis (*Labtron*) pada panjang

gelombang hasil optimasi, yaitu 291 nm. Hasil pengukuran berupa data absorbansi ini kemudian diplot dalam bentuk kurva kalibrasi yang menunjukkan hubungan konsentrasi (x) dan absorbansi (y). Kurva kalibrasi ekstrak ini kemudian digunakan untuk mengukur kadar ekstrak bajakah yang terkandung dalam serat selulosa asetat/gelatin/bajakah.

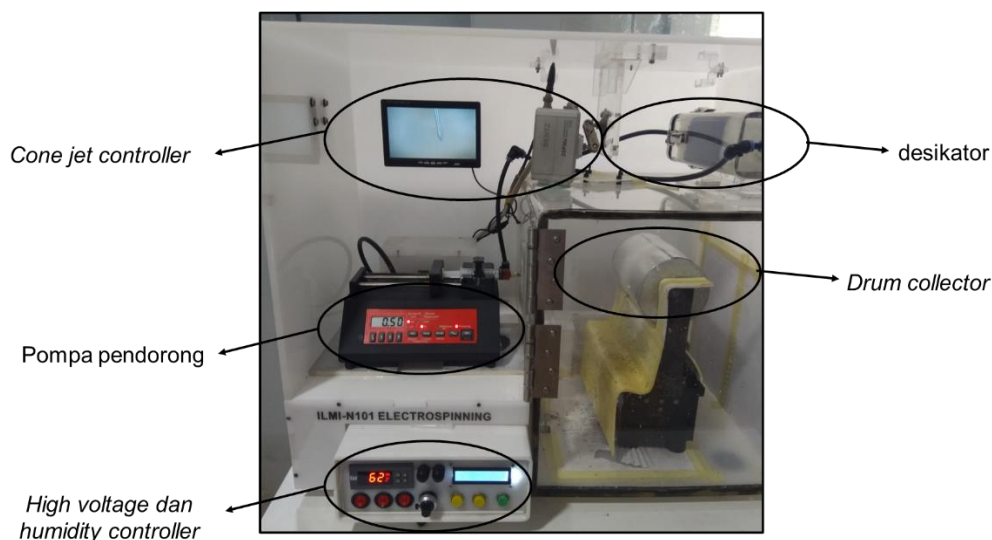
2.3 Proses Electrospinning

Serat selulosa asetat (SA)/gelatin disintesis menggunakan formulasi seperti yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Kusumah dkk., 2017). Konsentrasi massa polimer dibuat konstan, yaitu 15% dengan perhitungan menggunakan persamaan 1, di mana perbandingan massa gelatin terhadap selulosa asetat dibuat tetap, yaitu 6:4. Larutan ekstrak bajakah dibuat dengan melarutkan serbuk ekstrak bajakah dalam etanol absolut dengan konsentrasi 500 ppm.

Larutan ekstrak bajakah kemudian dicampur dengan larutan SA/gelatin 15% dengan berbagai perbandingan volume (volume larutan SA/gelatin terhadap larutan ekstrak bajakah), yaitu 8:1, 6:1, 4:1, dan 2:1. Keempat larutan ini dan larutan SA/gelatin 15% dinamakan larutan prekursor. Masing-masing larutan prekursor dihomogenasi menggunakan pengaduk magnet (*magnetic stirrer*) dengan kecepatan 600 rpm selama dua jam.

Setiap larutan prekursor dipindahkan dalam penyuntik (*Terumo*[®]) berukuran 10 mL dengan diameter dalam sebesar 15 mm. Penyuntik dihubungkan dengan jarum berukuran panjang 38 mm dan diameter lubang 0,8 mm. Larutan prekursor diproses menggunakan *electrospinning* pada parameter-parameter yang dibuat konstan, meliputi tegangan 13,5 kV, laju alir larutan prekursor sebesar 0,5 mL/jam, jarak jarum terhadap kolektor 12,5 cm, kelembapan relatif 55 - 65%, dan suhu ruang pemintal sebesar 25-28°C. Alat *electrospinning* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.

$$Konsentrasi(\%) = \frac{massa_{polimer}}{massa_{pelarut} + massa_{polimer}} \times 100\% \quad (1)$$



Gambar 3. Bagian-bagian pada *electrospinning*.

2.4 Karakterisasi Sampel

Morfologi dan ukuran serat SA/gelatin/bajakah dianalisis berdasarkan data hasil pengukuran menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang dilakukan pada tegangan 10 kV dan perbesaran 1000x. Citra hasil SEM kemudian diproses menggunakan perangkat lunak pengolah gambar *Image MIF v.3.0* untuk mengukur ukuran rata-rata serat dan menghitung distribusi ukuran rata-rata serat.

Sementara itu, kadar ekstrak bajakah yang terkandung dalam serat SA/gelatin/bajakah diukur dengan cara merendam terlebih dahulu sampel serat dalam etanol absolut selama 6 jam. Larutan etanol ini kemudian diukur menggunakan UV-Vis untuk diperoleh data absorbansi pada panjang gelombang hasil optimasi saat uji kalibrasi ekstrak bajakah (291 nm). Data absorbansi kemudian dicocokkan dengan kurva kalibrasi, sehingga dapat diperoleh konsentrasi ekstrak bajakah. Pengukuran ini dilakukan sebanyak tiga kali.

3. Hasil dan Pembahasan

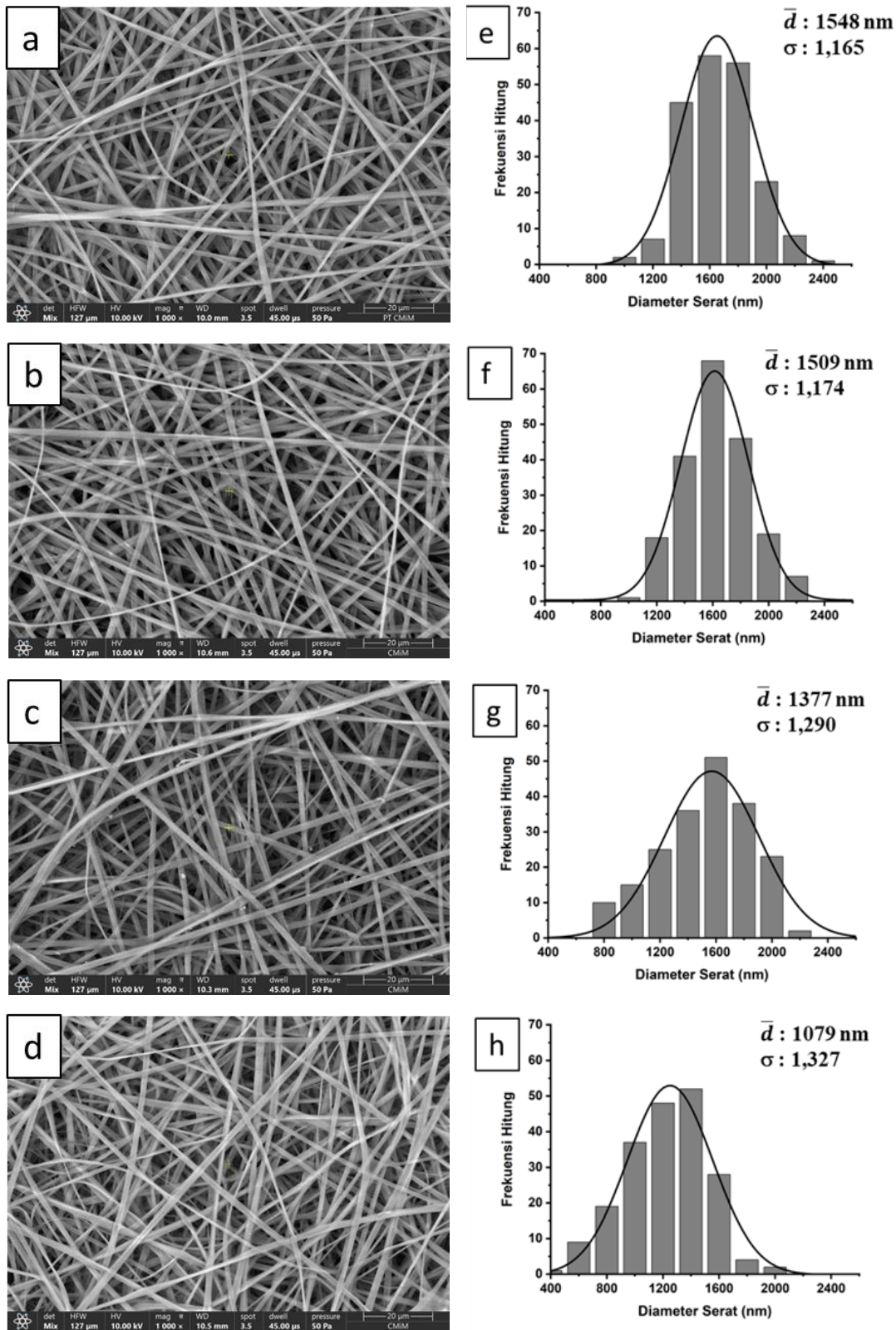
3.1 Hasil Karakterisasi SEM

Ketika proses optimasi sintesis serat SA/gelatin/bajakah dilakukan, terdapat satu formula yang tidak bisa menghasilkan serat, yaitu ketika perbandingan volume larutan SA/gelatin terhadap larutan ekstrak bajakah sebesar 2:1. Serat yang dihasilkan hanya sedikit, basah, dan banyak tetesan pada kolektor, seperti ditunjukkan Gambar 4 (a). Sedangkan larutan prekursor dengan perbandingan SA/gelatin terhadap bajakah sebesar 4:1, 6:1, dan 8:1 dapat menghasilkan serat yang baik, seperti ditunjukkan Gambar 4 (b)-(d).



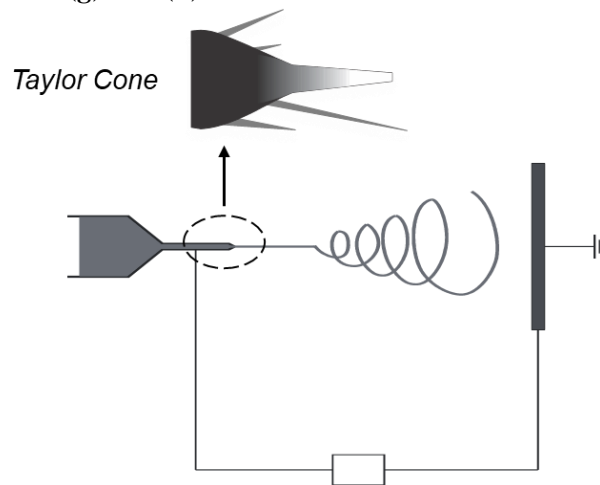
Gambar 4. Bentuk lembaran serat SA/gelatin/bajakah hasil *electrospinning* dengan variasi perbandingan volume larutan SA/gelatin terhadap larutan ekstrak bajakah.

Berdasarkan hasil optimasi sintesis serat SA/gelatin/bajakah pada Gambar 4, sampel serat yang kemudian dianalisis menggunakan SEM hanya empat, yaitu serat SA/gelatin 15% (tanpa ekstrak bajakah), serat SA/gelatin/bajakah 8:1, 6:1, dan 4:1. Citra hasil pengukuran menggunakan SEM dan distribusi ukuran rata-rata serat hasil pengolahan menggunakan *Image MIF v.3.0* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Citra SEM (1000x perbesaran) (a-d) dan grafik distribusi ukuran (e-h) serat SA/gelatin 15%, serat SA/gelatin/bajakah 8:1, 6:1, dan 4:1 berturut-turut

Berdasarkan hasil analisis data karakterisasi SEM, ukuran serat SA/gelatin lebih besar dibandingkan serat SA/gelatin/bajakah 8:1, 6:1, dan 4:1 dengan diameter rata-rata berturut-turut sebesar $(1548 \pm 1,165)$, $(1509 \pm 1,174)$, $(1377 \pm 1,290)$, dan $(1079 \pm 1,327)$ nm. Gambar 4 (b)-(d) menunjukkan bahwa pada serat yang dihasilkan dari larutan prekursor yang memiliki kandungan polimer terbesar (larutan SA/gelatin/bajakah 8:1), serat terkumpul di bagian tengah kolektor, tidak menyebar hingga ke seluruh permukaan kolektor. Semakin sedikit kandungan polimer dalam larutan prekursor (larutan SA/gelatin/bajakah 6:1 dan 4:1), semakin menyebar distribusi posisi serat pada kolektor. Hal ini dapat diakibatkan oleh adanya *side jet* pada *cone* polimer di ujung jarum yang menyebabkan serat yang terbentuk berpecah ke berbagai arah, tidak terpusat di bagian tengah, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Adanya *side jet* ini juga menimbulkan terbentuknya serat-serat sekunder yang lebih kecil dibandingkan serat utama, seperti ditunjukkan citra SEM pada Gambar 5 (c) dan (d), di mana semakin sedikit kandungan polimer dalam larutan prekursor, semakin banyak serat-serat sekunder yang dihasilkan. Banyaknya serat-serat sekunder yang berukuran jauh lebih kecil daripada serat utama menyebabkan distribusi ukuran rata-rata serat menjadi lebih lebar, artinya ukuran rata-rata serat menjadi lebih heterogen, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 (g) dan (h).



Gambar 6. Ilustrasi *side jet* pada *cone* polimer di ujung jarum.

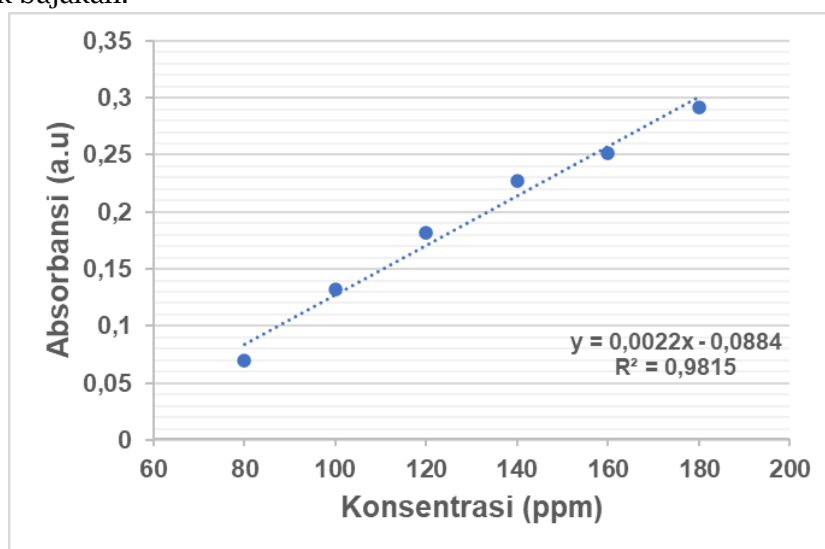
Pada tegangan, laju alir, dan jarak jarum-kolektor yang konstan, perbedaan ukuran serat dan adanya serat-serat sekunder berukuran kecil dapat diakibatkan oleh perbedaan viskositas larutan prekursor, di mana semakin rendah viskositas larutan, maka semakin kecil ukuran serat yang dihasilkan dan memungkinkan terbentuknya *side jet* yang bisa mengakibatkan terbentuknya serat-serat sekunder berukuran kecil (Ramakrishna dkk., 2005 dan Andradny, 2008). Seperti diketahui, larutan SA/gelatin/bajakah dibuat dengan memvariasikan perbandingan volume larutan SA/gelatin terhadap volume larutan ekstrak bajakah. Artinya, secara teori, larutan SA/gelatin/bajakah 4:1 memiliki viskositas paling rendah (paling encer) dibandingkan larutan SA/gelatin/bajakah 6:1, SA/gelatin/bajakah 8:1, dan SA/gelatin 15% karena mengandung lebih banyak pelarut. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengukuran dari ukuran rata-rata serat SA/gelatin/bajakah, di mana semakin kecil perbandingan larutan polimer terhadap larutan ekstrak bajakah, artinya secara teori semakin rendah viskositas, semakin kecil ukuran serat yang dihasilkan, seperti ditunjukkan Gambar 5 (e)-(h).

Sampel yang dihasilkan dari larutan prekursor SA/gelatin/bajakah 2:1 tidak bisa dikarakterisasi menggunakan SEM karena tidak terbentuk lembaran serat pada kolektor. Alih-alih serat, yang terbentuk adalah lapisan tipis lengket yang menempel dan tidak bisa dilepaskan dari kolektor seperti dapat dilihat pada Gambar 4 (a). Pada penelitian lain (Munir dkk., 2009), larutan dengan viskositas rendah menghasilkan nanopartikel atau serat bermanik (*beads*), yang diakibatkan karena terlalu sedikit molekul polimer dalam larutan prekursor. Secara

konsep, larutan dengan viskositas rendah mengandung lebih banyak molekul pelarut dibandingkan molekul polimer, sehingga interaksi antarmolekul pelarut bekerja lebih dominan. Jika gaya-gaya akibat interaksi antarmolekul pelarut ini jauh melebihi gaya-gaya akibat interaksi muatan dan interaksi antarmolekul polimer atau antara molekul polimer dengan molekul pelarut, maka polimer akan sulit tertarik menuju kolektor. Akibatnya, serat sulit terbentuk.

3.2 Hasil Uji Kadar

Kadar ekstrak bajakah yang terkandung dalam serat SA/gelatin/bajakah dihitung menggunakan kurva kalibrasi ekstrak bajakah, seperti ditunjukkan Gambar 7. Sampel yang digunakan untuk mengukur hanya satu saja untuk mewakili, yaitu serat SA/gelatin/bajakah 6:1. Hasil perhitungan kadar dengan tiga kali pengukuran menunjukkan bahwa kadar rata-rata ekstrak bajakah pada serat SA/gelatin/bajakah 6:1 adalah sebesar $(22,80 \pm 1,98)$ mg/gram serat. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa serat SA/gelatin/bajakah telah berhasil dimuati dengan ekstrak bajakah.



Gambar 7. Kurva kalibrasi ekstrak bajakah

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil optimasi proses pembuatan serat selulosa asetat (SA)/gelatin/bajakah dengan memvariasikan perbandingan volume larutan polimer (SA/gelatin 15%) terhadap larutan ekstrak bajakah diperoleh data bahwa larutan prekursor SA/gelatin/bajakah 2:1 tidak dapat menghasilkan serat karena terlalu banyak pelarut. Sedangkan untuk larutan prekursor SA/gelatin 4:1, 6:1, dan 8:1 dapat menghasilkan serat yang baik. Hasil analisis data karakterisasi SEM menunjukkan bahwa larutan SA/gelatin/bajakah 4:1, 6:1, dan 8:1 menghasilkan serat dengan ukuran rata-rata berturut-turut sebesar $(1079 \pm 1,327)$, $(1377 \pm 1,290)$, dan $(1509 \pm 1,174)$ nm. Larutan prekursor SA/gelatin 15% menghasilkan serat dengan ukuran rata-rata $(1548 \pm 1,165)$ nm. Hal ini menunjukkan semakin besar perbandingan kandungan polimer terhadap larutan dalam suatu larutan prekursor, semakin besar ukuran serat yang akan dihasilkan. Selain itu, larutan prekursor yang mengandung banyak pelarut (viskositasnya rendah), seperti pada larutan SA/gelatin/bajakah 6:1 dan 4:1 akan menghasilkan serat dengan distribusi ukuran yang heterogen. Sementara itu, hasil uji kadar menunjukkan bahwa di dalam serat SA/gelatin/bajakah 6:1 terkandung ekstrak bajakah sebanyak 22,80 mg/gram serat. Artinya, ekstrak bajakah berhasil diinkorporasikan ke dalam serat SA/gelatin.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kepada kepala laboratorium *functional material* Nano Center Indonesia karena sudah mengizinkan peneliti mengambil data di laborarotium tersebut.

Keterlibatan Penulis

FHK mengambil data, menganalisis data, menulis manuskrip original. SH mengambil data dan menganalisis data. K merancang alat dan instrument pengambilan data, juga membimbing FHK dan SH selama mengambil data.

Daftar Pustaka

- Andrady, A. L. 2008. *Science and technology of polymer nanofibers*. New Jersey, John Wiley and Sons.
- Ariesanti, Y., Poedjiastoeti, W., Komariah, dan Wijaya, A. F. 2021. In Vitro Wound Healing Potential of Stem Extract of *Spatholobus littoralis* Hassk. *Journal of International Dental and Medical Research*. Vol 14 (4), 1379-1385.
- Hu, X., Liu, S., Zhou, G., Huang, Y., Xie, Z., dan Jing, X. 2014. Electrospinning of polymeric nanofibers for drug delivery applications. *Journal of Controlled Release*. Vol 185, 12-21.
- Iskandar, D. dan Warsidah. 2020. Qualitative Phytochemical Screening and Antioxidant Activity of Ethanol Root Extract of *Spatholobus littoralis* Hassk. *The Journal of Food and Medicinal Plants*, Vol 1(1), 13-15.
- Konwarh, R., Karak, N., dan Misra, M. 2013. Electrospun cellulose acetate nanofibers: The present status and gamut of biotechnology application. *Biotechnology Advances*. Vol 31, 421-437.
- Kusumah, F. H., Sriyanti, I., Edikresnha, D., Munir, M. M., dan Khairurrijal. 2017. Simply electrospun gelatin/cellulose acetate nanofibers and their physico-Chemical characteristics. *Materials Science Forum*, Vol 880, 95-98.
- Lu, Y., Huang, J., Yu, G., Cardenas, R., Wei, S., Wujcik, E. K., dan Guo, Z. 2016. Coaxial electrospun fibers: applications in drug delivery and tissue engineering. *WIREs Nanomed Nanobiotechnol*. Vol 8, 654-677.
- Munir, M. M., Suryamas, A. B., Iskandar, F., dan Okuyama, K. 2009. Scaling law on particle-to-fiber formation during electrospinning. *Polymer*. Vol 50, 4935-4943.
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W. E., Lim, T. C., dan Ma, Z. 2005. *An introduction to electrospinning and nanofibers*. Singapore, World Scientific.
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W. E., Yong, T., Ma, Z., dan Ramaseshan, R. 2006. Electrospun nanofibers: solving global issues. *Materials Today*. Vol 9, 40-50.
- Saputera, M. M. A. dan Ayuhecacia, N. 2018. Uji Efektivitas Ekstrak Etanolik Batang Bajakah Tampala (*Spatholobus littoralis* Hassk.) terhadap Waktu Penyembuhan Luka. *Jurnal Ilmiah Ibnu Sina*. Vol 3(2), 318-327.
- Wei, Q., Xu, F., Xu, X., Geng, X., Ye, L., Zhang, A., dan Feng, Z. 2016. The multifunction wound dressing with core-shell structured fibers prepared by coaxial electrospinning. *Frontier of Material Science*. Vol 10, 113-121.
- Weng, L. dan Xie, J. 2015. Smart electrospun nanofibers for controlled drug release: Recent advance and new perspectives. *Current Pharmaceutical Design*. Vol 21, 1-16.
- Zhang, Y. Z., Wang, X., Feng, Y., Li, J., Lim, C. T., dan Ramakrishna, S. 2006. Coaxial Electrospinning of (Fluorescein Isothiocyanate-Conjugated Bovine Serum Albumin)-Encapsulated Poly(E-caprolactone) Nanofibers for Sustained Release. *Biomacromol*. Vol 7, 1049-1057.