



Analisis Morfologi Rambut Sebelum dan Sesudah Rebonding Menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Annisa Ananda^{1*}, Widyastuti², Rohimatul Anwar³

¹⁻³Jurusan Kimia, Universitas Lampung, Indonesia

*Penulis Korespondensi: annisananda@fmipa.unila.ac.id

Abstract. *Rebonding is a chemical hair straightening procedure widely popular in Indonesia, involving two-stage redox reactions on keratin disulfide bonds using ammonium thioglycolate and hydrogen peroxide. Although it provides effective hair-straightening results, rebonding potentially causes significant damage to the hair cuticle structure. This study aimed to analyze the morphological changes of hair surface before and after rebonding treatment through a descriptive comparative case study approach using Scanning Electron Microscopy (SEM). The samples consisted of one strand of healthy, chemically untreated hair (control) and one strand of post-rebonding hair that both obtained from a female. Samples were prepared using gold-sputter coating prior to SEM observation. Representative SEM images from each sample were then qualitatively compared based on cuticle morphology parameters. The results showed clear morphological differences between the two samples: the control hair displayed tightly arranged and orderly cuticle scales with a smooth surface, while the post-rebonding hair showed surface erosion and the presence of cracks in multiple areas of the cuticle. These findings confirm that rebonding procedures cause visible and characterizable morphological cuticle damage as identified through SEM, providing a scientific basis for developing more protective post-rebonding hair care products.*

Keywords: *Cuticle ; Hair Damage; Hair Morphology; Rebonding ; SEM.*

Abstrak. *Rebonding merupakan prosedur pelurusan rambut secara kimiawi yang populer di Indonesia. Prosedur ini melibatkan dua tahap reaksi reduksi-oksidasi pada ikatan disulfida keratin menggunakan ammonium thioglycolate dan hidrogen peroksida. Meskipun efektif menghasilkan rambut yang lebih lurus, rebonding berpotensi merusak struktur kutikula rambut secara signifikan. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan morfologi permukaan rambut sebelum dan sesudah perlakuan rebonding melalui pendekatan studi kasus deskriptif komparatif menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM). Sampel terdiri atas satu helai rambut sehat tanpa perlakuan kimia (kontrol) dan satu helai rambut pasca-rebonding yang diperoleh dari individu perempuan. Preparasi sampel dilakukan dengan gold-sputter coating sebelum pengamatan SEM. Citra SEM representatif dari masing-masing sampel kemudian dibandingkan secara kualitatif berdasarkan kondisi morfologi kutikula. Hasil pengamatan menunjukkan perbedaan morfologi yang jelas antara kedua sampel: rambut kontrol memperlihatkan kutikula yang tersusun rapat dan teratur dengan permukaan halus, sementara rambut pasca-rebonding menunjukkan erosi permukaan dan retakan di beberapa bagian kutikula. Temuan ini mengkonfirmasi bahwa prosedur rebonding menyebabkan kerusakan morfologi kutikula yang nyata dan teridentifikasi secara visual melalui SEM, serta memberikan landasan ilmiah bagi pengembangan produk perawatan pasca-rebonding yang lebih protektif.*

Kata kunci: Kerusakan Rambut; Kutikula; Morfologi Rambut; *Rebonding*; SEM.

1. LATAR BELAKANG

Rambut merupakan salah satu bagian tubuh yang tersusun atas protein struktural bernama keratin. Protein ini berbentuk seperti serat dan kaya akan asam amino sistein yang mengandung sulfur sehingga terdapat banyak ikatan disulfida pada rambut. Fungsi utama rambut adalah sebagai pelindung kulit kepala, tetapi rambut juga memegang peran penting dalam dalam aspek psikososial dan identitas diri individu. Kesehatan rambut sangat bergantung pada kondisi lapisan kutikula sebagai lapisan terluar. Kutikula tersusun atas sel-sel keratin yang

bertumpuk secara teratur menyerupai sisik sehingga mampu menjaga kekuatan, elastisitas, dan kelembapan rambut (Fernandes et al., 2023; Davis et al., 2020; Breakspear et al., 2024).

Namun, perkembangan industri kecantikan telah meningkatkan penggunaan berbagai prosedur kimiawi dan fisik pada rambut, seperti *coloring*, *bleaching*, dan *rebonding*. *Rebonding* merupakan salah satu prosedur pelurusan rambut permanen yang sangat populer di kalangan masyarakat. Prosedur ini mampu mengubah bentuk alami rambut menjadi lurus, tetapi berpotensi merusak struktur serat rambut apabila dilakukan pada kondisi yang tidak sesuai. Kerusakan tersebut dapat berupa pengelupasan kutikula, retakan permukaan kutikula, peningkatan porositas, hingga patahnya batang rambut. Rebonding yang dilakukan secara berulang serta kombinasi dengan prosedur perlakuan pada rambut lainnya akan memperparah kerusakan tersebut (Hyun, 2024; Man et al., 2021; Kim et al., 2024).

Kerusakan pada mikrostruktur rambut tidak dapat diamati secara langsung sehingga memerlukan alat bantu yang mampu menggambarkan struktur kutikula secara jelas. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk menggambarkan morfologi kutikula rambut secara mikroskopik. Berbagai penelitian sebelumnya telah memanfaatkan instrumen SEM untuk mengevaluasi kerusakan rambut akibat perlakuan secara kimiawi dan fisik. Namun, sebagian besar penelitian tersebut lebih berfokus pada dampak perlakuan *bleaching*, *coloring*, pemanasan serta kombinasi berbagai perlakuan tersebut. Kajian spesifik terhadap perubahan morfologi rambut akibat *rebonding* masih relatif terbatas, khususnya pada rambut Asia (Davis et al., 2020; Man et al., 2021; Kim et al., 2024; Zhang et al., 2021). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis morfologi rambut sebelum dan sesudah perlakuan *rebonding* menggunakan SEM. Hasil penelitian diharapkan dapat menambah wawasan baru mengenai dampak rebonding terhadap struktur kutikula dan menjadi referensi bagi pengembangan perawatan rambut yang lebih aman.

2. KAJIAN TEORITIS

Batang rambut tersusun atas tiga lapisan, yaitu kutikula, korteks, dan medula. Kutikula merupakan lapisan terluar yang terdiri dari 6–10 lapis sel-sel keratin pipih yang saling tumpang tindih menyerupai sisik dan dilindungi oleh lapisan lipid 18-methyleicosanoic acid (18-MEA) yang terikat secara kovalen pada permukaan *epicuticle* (Fernandes et al., 2023; Pereira-Silva et al., 2022). Keratin merupakan protein fibrosa yang kaya akan asam amino sistein. Antar residu sistein dihubungkan oleh ikatan disulfida (-S-S-) yang berperan dalam menentukan kekuatan mekanik dan bentuk permanen rambut. Kerusakan atau perubahan ikatan ini akan menyebabkan perubahan struktur rambut secara permanen (Kaliyadan et al., 2016; Di Foggia

et al., 2021). Rambut Asia umumnya memiliki karakteristik penampang melintang silindris, diameter lebih besar (0,08–0,1 mm), dan tekstur relatif lurus hingga sedikit bergelombang (Daniels et al., 2023; Flament et al., 2025). Karakteristik morfologi ini dapat memengaruhi respons dan derajat kerusakan akibat prosedur kimia.

Prosedur *rebonding* melibatkan dua tahap reaksi. Reaksi pertama adalah reduksi dan reaksi kedua adalah oksidasi/netralisasi. Tahap pertama, aplikasi cream *rebonding* berbasis ATG (pH 8–9,5) akan memutus ikatan disulfida antar rantai keratin menjadi gugus tiol bebas (-SH). Kondisi basa menyebabkan *swelling* serat dan pembukaan sisik kutikula, hingga memungkinkan penetrasi reagen ke bagian korteks. Rambut kemudian menjadi lunak dan plastis untuk diluruskan secara mekanik. Tahap kedua, agen netralisasi H₂O₂ (1–3%) mengoksidasi kembali gugus -SH menjadi ikatan disulfida baru dalam posisi lurus. Jika proses re-oksidasi tidak sempurna, sisa thiol bebas menurunkan kekuatan mekanik rambut secara permanen (Soares & Cornélio, 2024; Lai et al., 2025; Cruz et al., 2016).

Paparan kondisi pH tinggi dan agen pereduksi pada prosedur *rebonding* menyebabkan perubahan struktur rambut berupa pengangkatan sisik kutikula dari posisi normalnya, penghilangan lapisan lipid 18-MEA, peningkatan porositas permukaan, penurunan elastisitas, dan peningkatan kekasaran rambut. Degradasi lapisan lipid 18-MEA menyebabkan permukaan kutikula menjadi hidrofili dan rambut kehilangan kilapnya. Tingkat kerusakan yang terjadi umumnya meningkat seiring dengan frekuensi perlakuan, konsentrasi bahan kimia, dan penggunaan suhu tinggi selama prosedur berlangsung (Lai et al., 2025; Lima et al., 2023; Camargo Jr et al., 2022).

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah instrumen mikroskop yang memfokuskan berkas elektron berenergi tinggi ke permukaan spesimen untuk menghasilkan citra topografi permukaan sampel beresolusi tinggi hingga skala nanometer. Elektron primer yang mengenai permukaan sampel akan berinteraksi dengan atom-atom penyusunnya dan menghasilkan berbagai sinyal. Sinyal tersebut ditangkap oleh detektor dan diubah menjadi gambar. Sebelum pengamatan, sampel dipreparasi dengan fiksasi, dehidrasi, pengeringan, dan *gold-sputter coating* (± 15 nm) untuk memberikan konduktivitas pada permukaan biologis. Dibandingkan mikroskop cahaya, SEM mampu memberikan daya pisah yang lebih tinggi dan kedalaman fokus yang besar sehingga sangat tepat digunakan dalam penelitian material biologis (Davis et al., 2020; Zhang et al., 2021; Ali et al., 2023; Lewczuk & Szyryńska, 2021).

Dalam beberapa penelitian rambut, SEM merupakan salah satu metode utama yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi morfologi lapisan kutikula rambut yang paling rentan mengalami kerusakan. Citra SEM mampu memperlihatkan susunan sisik kutikula secara jelas

akibat perlakuan kosmetik, paparan panas, radiasi ultraviolet, maupun bahan kimia. Salah satu penelitian memanfaatkan citra SEM untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan tingkat kerusakan rambut menggunakan pendekatan *deep learning*. Kemudian penelitian lain mengembangkan metode analisis otomatis berbasis citra SEM untuk menilai kerusakan rambut secara kuantitatif. Oleh karena itu, SEM menjadi salah satu instrumen standar untuk karakterisasi struktur permukaan rambut (Man et al., 2021; Sari et al., 2023).

3. METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan studi kasus deskriptif komparatif dengan pendekatan kualitatif berbasis analisis citra SEM. Dua sampel tunggal dibandingkan: (1) satu helai rambut sehat tanpa perlakuan kimia sebagai kelompok kontrol dan (2) satu helai rambut yang telah menjalani prosedur *rebonding* sebagai kelompok perlakuan. Sifat studi kasus dengan sampel tunggal per kelompok menempatkan penelitian ini sebagai eksplorasi morfologi awal (*preliminary morphological study*) yang dapat menjadi dasar penelitian berskala lebih besar.

Sampel

Kedua helai rambut yang dijadikan sebagai sampel diperoleh dari individu perempuan. Sampel kontrol diambil sebelum prosedur *rebonding* dilakukan dan sampel perlakuan diambil 3 hari setelah prosedur *rebonding* selesai. Dengan pengambilan dari individu yang sama, variabel biologis intrinsik (jenis rambut, kondisi kesehatan, nutrisi) dapat dikendalikan, sehingga perbedaan morfologi yang teramati disebabkan oleh pengaruh prosedur *rebonding*.

Instrumen Penelitian

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengamati morfologi rambut. Selain itu, digunakan peralatan pendukung berupa desikator, gunting, pinset, stub aluminium, *carbon tape*, dan perangkat lunak pengolah citra SEM.

Preparasi Sampel

Sampel rambut dibersihkan menggunakan akuades untuk menghilangkan debu dan kontaminan yang menempel pada permukaan rambut, kemudian dikeringkan pada dalam desikator. Setiap helai rambut dipotong 0,5 cm, lalu dipasang tegak lurus pada stub yang sudah menggunakan *carbon tape* steril. Selanjutnya, sampel dilapisi *gold* dengan teknik *sputter coating* untuk memberikan konduktivitas listrik.

Analisis Data

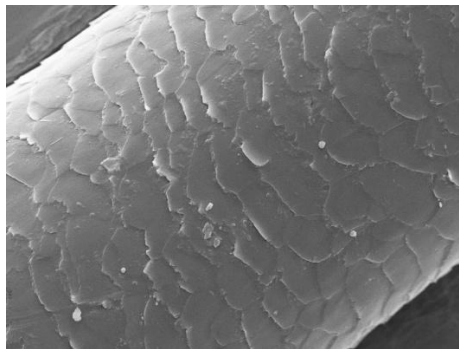
Analisis data dilakukan secara kualitatif melalui pendekatan deskriptif komparatif dengan membandingkan morfologi permukaan rambut pada kedua citra SEM. Parameter yang diamati meliputi keteraturan susunan kutikula, keberadaan retakan atau lubang pada permukaan kutikula, pengangkatan kutikula, dan erosi lapisan kutikula. Hasil pengamatan digunakan untuk mengevaluasi dampak rebonding terhadap mikrostruktur kutikula rambut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi Rambut Sampel Kontrol

Citra SEM pada sampel kontrol (Gambar 1) memperlihatkan morfologi kutikula rambut dalam kondisi normal dan tidak terganggu (tanpa perlakuan). Sisik-sisik keratin pada kutikula tersusun rapat dan teratur secara bertumpuk menyerupai susunan genting. Lapisan permukaan kutikula tampak homogen tanpa adanya indikasi kerusakan signifikan, seperti retakan, pengelupasan, maupun pengangkatan kutikula. Selain itu, permukaan terlihat lebih halus dengan batas antar kutikula yang masih jelas.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa lapisan kutikula pada sampel kontrol masih mampu menjalankan fungsinya sebagai pelindung bagian korteks dengan baik. Temuan ini sejalan dengan deskripsi rambut sehat dalam berbagai penelitian yang telah dilakukan terkait morfologi rambut. Kondisi pada sampel kontrol menjadi dasar untuk mengevaluasi perubahan morfologi yang terjadi pada sampel pasca-*rebonding*.



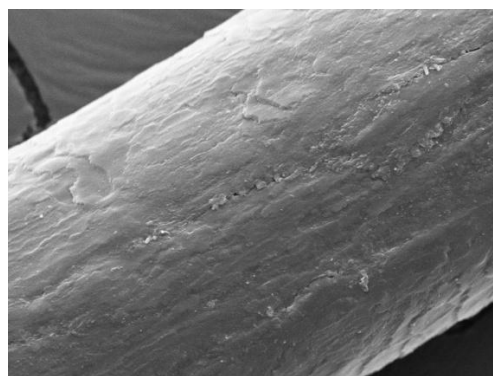
Gambar 1. Citra SEM sampel rambut kontrol

Morfologi Rambut Sampel Pasca *Rebonding*

Citra SEM pada sampel pasca-*rebonding* (Gambar 2) menunjukkan perubahan morfologi kutikula yang mencolok dibandingkan sampel kontrol. Permukaan rambut terlihat lebih kasar dengan susunan kutikula yang tidak lagi teratur karena adanya erosi pada lapisan kutikula. Selain itu, batas antar kutikula juga tampak kurang jelas akibat terjadinya deformasi

struktur permukaan rambut. Hal ini berkaitan dengan degradasi lapisan 18-MEA dan kerusakan komponen kutikula akibat kondisi reduksi (Fernandes et al., 2023 ; Lai et al., 2025).

Di beberapa bagian permukaan kutikula sampel pasca-*rebonding* juga terlihat retakan mikro dan lubang kecil yang akan menyebabkan peningkatan porositas rambut. Peningkatan porositas tersebut akan menghasilkan jalur difusi yang mudah bagi air dan zat-zat kimia lain untuk menuju lapisan korteks. Hal tersebut terjadi karena struktur rambut yang melemah akibat paparan panas dari catokan pada saat prosedur *rebonding* dilakukan. Kerusakan ini sesuai dengan temuan berbagai penelitian yang melaporkan bahwa prosedur perlakuan pada rambut secara kimiawi menghasilkan perubahan morfologi kutikula yang signifikan (Lima et al., 2023; Camargo Jr et al., 2022).



Gambar 2. Citra SEM sampel rambut pasca-*rebonding*

Perbandingan Morfologi Kontrol dan Pasca *Rebonding*

Perbandingan antara rambut sehat dan rambut pasca-*rebonding* menunjukkan adanya perbedaan yang nyata pada struktur permukaan rambut. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa prosedur *rebonding* menyebabkan perubahan pada mikrostruktur rambut yang dapat diamati secara menggunakan SEM.

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Morfologi Rambut

<i>Karakteristik</i>	<i>Rambut Sehat</i>	<i>Rambut Pasca-Rebonding</i>
Kondisi Sisik Kutikula	Tersusun rapat dan utuh, tumpang tindih teratur	Susunan tidak beraturan, sebagian tidak terlihat jelas
Tepi Sisik Kutikula Permukaan Kutikula	Tepi sisik terlihat jelas Halus dan homogen	Tepi sisik kurang jelas Kasar dan heterogen, terdeteksi area yang dengan sisik yang hilang
Porositas Permukaan Kutikula	Tidak tampak retakan atau lubang	Terdapat retakan memanjang dan lubang kecil di beberapa bagian

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), rambut sehat menunjukkan susunan kutikula yang teratur, rapat, dan relatif homogen, sedangkan rambut pasca-*rebonding* mengalami perubahan morfologi yang ditandai dengan kerusakan sisik kutikula, munculnya retakan atau lubang kecil, erosi permukaan kutikula, serta ketidakteraturan susunan kutikula. Perubahan tersebut mengindikasikan bahwa prosedur *rebonding* menyebabkan penurunan integritas lapisan kutikula akibat kombinasi perlakuan kimia dan panas. Oleh karena itu, penggunaan prosedur *rebonding* sebaiknya dilakukan secara bijaksana dengan memperhatikan frekuensi dan perawatan rambut pasca-*rebonding* untuk meminimalkan kerusakan rambut. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggabungkan analisis morfologi menggunakan SEM dengan pengukuran sifat fisik dan kimia rambut, seperti porositas, kekuatan tarik, atau kandungan protein keratin sehingga diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif terkait dampak *rebonding* terhadap kualitas rambut.

DAFTAR REFERENSI

- Ali, A., Zhang, N., & Santos, R. M. (2023). Mineral characterization using scanning electron microscopy (SEM): A review of the fundamentals, advancements, and research directions. *Applied Sciences*, 13(23), 12600. <https://doi.org/10.3390/app132312600>
- Breakspear, S., Nöcker, B., & Popescu, C. (2024). Chemical bonds and hair behaviour—A review. *International Journal of Cosmetic Science*, 46(5), 806–814. <https://doi.org/10.1111/ics.12967>
- Camargo Jr, F. B., Minami, M. M., Rossan, M. R., Magalhães, W. V., Porto Ferreira, V. T., & Maia Campos, P. M. B. G. (2022). Prevention of chemically induced hair damage by means of treatment based on proteins and polysaccharides. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 21(2), 827–835. <https://doi.org/10.1111/jocd.14148>
- Cruz, C., Costa, C., Gomes, A., Matamá, T., & Cavaco-Paulo, A. (2016). Human hair and the impact of cosmetic procedures: A review on cleansing and shape-modulating cosmetics. *Cosmetics*, 3(3), 26. <https://doi.org/10.3390/cosmetics3030026>
- Daniels, G., Fraser, A., & Westgate, G. E. (2023). How different is human hair? A critical appraisal of the reported differences in global hair fibre characteristics and properties towards defining a more relevant framework for hair type classification. *International Journal of Cosmetic Science*, 45(1), 50–61. <https://doi.org/10.1111/ics.12819>
- Davis, C., Abdul Khofar, P. N., Abdul Karim, U. K., Abd Rashid, R., Mahat, M. M., & Abdul Halim, M. I. (2020). Critical assessment on structural analysis of scalp hair using scanning electron microscope (SEM) and compound microscope. *Materials Today: Proceedings*, 29, 244–249. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.538>
- Di Foggia, M., Boga, C., Micheletti, G., Nocentini, B., & Taddei, P. (2021). Structural investigation on damaged hair keratin treated with α,β -unsaturated Michael acceptors used as repairing agents. *International Journal of Biological Macromolecules*, 167, 620–632. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.194>

- Fernandes, C., Medronho, B., Alves, L., & Rasteiro, M. G. (2023). On hair care physicochemistry: From structure and degradation to novel biobased conditioning agents. *Polymers*, *15*(3), 608. <https://doi.org/10.3390/polym15030608>
- Flament, F., Maudet, A., Barbarat, P., Jabnoun, M., Bayer-Vanmoen, M., Imbert Legrain, A., Leclerc-Mercier, S., Taieb, C., Skayem, C., & Lebarbanchon, L. (2025). Types and characteristics of hair across the globe: Results of a multinational study on 19,461 individuals. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, *18*, 393–404. <https://doi.org/10.2147/CCID.S377009>
- Hyun, J.-W. (2024). Evaluation of hair changes and damage according to hair iron heating plate material. *Journal of the Korean Society of Cosmetology*, *30*(5), 1027–1034. <https://doi.org/10.52660/JKSC.2024.30.5.1027>
- Kaliyadan, F., Gosai, B., Al Melhim, W., Feroze, K., Qureshi, H., Ibrahim, S., & Kuruvilla, J. (2016). Scanning electron microscopy study of hair shaft damage secondary to cosmetic treatments of the hair. *International Journal of Trichology*, *8*(2), 94–98. <https://doi.org/10.4103/0974-7753.188035>
- Kim, D. H., Oh, S. H., & Chang, B. S. (2024). Effects of excessive bleaching on hair: Comparative analysis of external morphology and internal microstructure. *Applied Microscopy*, *54*(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s42649-024-00104-0>
- Lai, N. H., Dang, T. H. N., Nguyen, T. T., & Phan, D. T. Q. (2025). Utilizing lipid bond technology with molecular lipid complex to provide lipid treatment for damaged hair. *Dermatology Research and Practice*, *2025*(1). <https://doi.org/10.1155/drp/5385312>
- Lewczuk, B., & Szyryńska, N. (2021). Field-emission scanning electron microscope as a tool for large-area and large-volume ultrastructural studies. *Animals*, *11*(12), 3390. <https://doi.org/10.3390/ani11123390>
- Lima, C. R. R. C., Lima, R. J. S., Bandeira, A. C. C., Couto, R. A. A., Velasco, M. V. R., Bordallo, H. N., & Oliveira, C. L. P. (2023). Alterations promoted by acid straightening and/or bleaching in hair microstructures. *Journal of Applied Crystallography*, *56*(4), 1002–1014. <https://doi.org/10.1107/S1600576723005599>
- Man, Q., Zhang, L., & Cho, Y. (2021). Efficient hair damage detection using SEM images based on convolutional neural network. *Applied Sciences*, *11*(16), 7333. <https://doi.org/10.3390/app11167333>
- Pereira-Silva, M., Martins, A. M., Sousa-Oliveira, I., Ribeiro, H. M., Veiga, F., Marto, J., & Paiva-Santos, A. C. (2022). Nanomaterials in hair care and treatment. *Acta Biomaterialia*, *142*, 14–35. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.02.025>
- Sari, D. Y., Widyasari, R., & Astuti, I. (2023). Morphology analysis of hair photoinduced and chemical damaged after treatment with sappan wood (*Caesalpinia sappan* L.) hair tonic using SEM. *Borneo Journal of Pharmacy*, *6*(4), 379–385. <https://doi.org/10.33084/bjop.v6i4.4652>
- Soares, J. P. G. de S., & Cornélio, M. L. (2024). Physical and mechanical properties of the hair shaft: A review of measurement techniques to verify the efficacy of cosmetic products. In *Harmony of Knowledge: Exploring Interdisciplinary Synergies*. Seven Editora. <https://doi.org/10.56238/sevened2023.006-127>
- Zhang, L., Man, Q., & Cho, Y. I. (2021). Deep-learning-based hair damage diagnosis method applying scanning electron microscopy images. *Diagnostics*, *11*(10), 1831. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11101831>