

---

## KRIM KAMUFLASE BERBASIS SAMBILOTO (*ANDROGRAPHIS PANICULATA*): INOVASI SEDIAAN TOPIKAL MULTIFUNGSI UNTUK PROTEKSI KULIT MILITER

Oleh

Aisyah Putri Rifdiningsih<sup>1</sup>, Naurah Salsabila<sup>2</sup>, Rinda Dwi Sartika<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi Militer, Universitas Pertahanan

Republik Indonesia, Bogor, Indonesia

Email: <sup>1</sup>[aisyahputri240903@gmail.com](mailto:aisyahputri240903@gmail.com), <sup>2</sup>[sllsaanau2775@gmail.com](mailto:sllsaanau2775@gmail.com),

<sup>3</sup>[rinda.dwi@idu.ac.id](mailto:rinda.dwi@idu.ac.id)\*

---

### Article History:

Received: 16-05-2026

Revised: 27-05-2027

Accepted: 19-06-2026

### Keywords:

*Andrographis paniculata, Camouflage Cream, Military, Skin Protection, Topical Preparation.*

**Abstract:** *The extreme military operational environment is prone to triggering various dermatological disorders in personnel due to exposure to ultraviolet (UV) radiation, high temperatures, humidity, dust, microorganisms, and mechanical friction. Camouflage creams are commonly used for visual concealment, but conventional formulations often overlook the aspect of biological skin protection. Sambiloto (*Andrographis paniculata*), a native Indonesian plant, has the potential to be innovated as an active ingredient in topical preparations because it is rich in secondary metabolites with anti-inflammatory and antioxidant activities. This article aims to review the potential of Sambiloto extract in developing a multifunctional camouflage cream for military skin protection. The method used is a narrative review through a comprehensive scientific literature search spanning the years 2018-2026. The results show that the main bioactive compound of Sambiloto, andrographolide, effectively controls inflammation, reduces oxidative stress, and protects skin tissue from external damage. The development of this Sambiloto-based camouflage cream offers an innovative approach that integrates tactical function (concealment) and medical function (topical preparation protection). Furthermore, the utilization of this plant supports national raw material independence based on local biological resources. Despite its potential, further experimental research regarding formulation optimization, stability, and clinical trials is highly required to ensure its field efficacy and safety.*

---

## PENDAHULUAN

Lingkungan operasi militer merupakan lingkungan kerja dengan tingkat paparan faktor risiko fisik, biologis, dan lingkungan yang lebih tinggi dibandingkan aktivitas sipil pada umumnya. Personel militer secara rutin menghadapi paparan radiasi ultraviolet (UV), suhu tinggi, kelembaban ekstrem, debu, mikroorganisme lingkungan, serta gesekan mekanis akibat penggunaan perlengkapan tempur dalam durasi panjang. Kondisi tersebut dapat menyebabkan berbagai gangguan dermatologis seperti dermatitis kontak, iritasi kulit,

hiperpigmentasi, peningkatan sensitivitas kulit, hingga infeksi superfisial yang berpotensi menurunkan kenyamanan dan efektivitas operasional personel di lapangan (Singal & Lipner, 2023). Dalam konteks pertahanan modern, perlindungan kesehatan personel tidak lagi hanya difokuskan pada pencegahan cedera fisik berat, tetapi juga mencakup strategi preventif terhadap gangguan kesehatan minor yang dapat mengganggu performa operasional. Oleh karena itu, pengembangan militer perlindungan kulit menjadi salah satu area yang semakin relevan dalam mendukung kesiapan tempur personel militer.

Salah satu bentuk perlindungan yang umum digunakan pada lingkungan militer adalah krim kamuflase (*camouflage cream*), yaitu sediaan topikal yang digunakan untuk membantu penyamaran visual personel terhadap lingkungan sekitarnya. Krim kamuflase umumnya diaplikasikan pada area kulit yang terbuka seperti wajah, leher, dan tangan untuk mengurangi refleksi cahaya serta menyesuaikan warna kulit dengan medan operasi. Walaupun fungsi utamanya bersifat visual, perkembangan teknologi bahan aktif membuka peluang untuk mengembangkan krim kamuflase menjadi produk multifungsi yang tidak hanya berperan dalam penyamaran tetapi juga memberikan manfaat biologis terhadap kesehatan kulit (Gelman *et al.*, 2019). Pengembangan konsep tersebut menjadi semakin penting pada wilayah tropis yang memiliki tingkat paparan lingkungan lebih tinggi dibandingkan wilayah subtropis. Oleh sebab itu, integrasi bahan aktif herbal dengan aktivitas protektif biologis menjadi salah satu pendekatan inovatif yang menarik untuk dieksplorasi.

Indonesia sebagai negara megabiodiversitas memiliki potensi besar dalam pengembangan bahan aktif alami untuk kebutuhan kesehatan maupun pertahanan. Salah satu tanaman obat yang berpotensi dikembangkan dalam konteks tersebut adalah sambiloto (*Andrographis paniculata*), tanaman herbal yang telah lama digunakan dalam pengobatan tradisional di Asia Tenggara. Sambiloto diketahui mengandung berbagai metabolit sekunder aktif, terutama andrografolid, yang memiliki aktivitas antiinflamasi, antioksidan, antimikroba, dan imunomodulator yang relevan terhadap perlindungan jaringan kulit (Li *et al.*, 2022). Sejumlah penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa andrografolid memiliki kemampuan memodulasi jalur inflamasi melalui penghambatan aktivasi *nuclear factor kappa B* (NF- $\kappa$ B) serta penurunan produksi mediator inflamasi seperti tumor *necrosis factor alpha* (TNF- $\alpha$ ) dan interleukin proinflamasi (Banerjee *et al.*, 2021). Aktivitas tersebut menjadikan sambiloto sebagai kandidat potensial untuk dikembangkan dalam sistem perlindungan kulit berbasis herbal.

Pengembangan krim kamuflase berbasis sambiloto menawarkan pendekatan inovatif yang mengintegrasikan bidang farmasi, fitofarmaka, dermatologi, dan teknologi pertahanan modern. Selain memberikan fungsi penyamaran visual, penggunaan bahan aktif herbal dalam sediaan topikal berpotensi memberikan manfaat tambahan berupa perlindungan terhadap inflamasi, stres oksidatif, dan paparan mikroorganisme lingkungan selama operasi lapangan. Meskipun hingga saat ini pemanfaatan sambiloto pada bidang pertahanan masih relatif terbatas, pendekatan konseptual ini memiliki dasar ilmiah yang cukup kuat berdasarkan aktivitas biologis yang telah banyak dilaporkan. Dengan demikian, kajian ilmiah terhadap potensi sambiloto dalam pengembangan krim kamuflase menjadi penting untuk mendukung inovasi produk perlindungan personel militer berbasis sumber daya hayati Indonesia.

## METODE

Artikel ini merupakan *narrative review*, di mana metode yang digunakan adalah penelusuran literatur melalui berbagai basis data ilmiah yaitu *PubMed*, *Scopus*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, *Google Scholar*, *MDPI*, *Frontiers*, serta portal jurnal nasional terakreditasi Indonesia. Pencarian literatur dilakukan pada rentang tahun 2018-2026 menggunakan kata kunci *Andrographis paniculata*, *andrografolid*, *skin protection*, *anti-inflammatory activity*, *antioxidant activity*, *military dermatology*, *camouflage cream*, *military skin disease*, *topical herbal*, dan *herbal defense innovation*. Literatur nasional yang membahas sambiloto juga digunakan untuk memperkuat relevansi pengembangan berbasis biodiversitas Indonesia.

Sebanyak 58 artikel diperoleh dari hasil pencarian awal yang terdiri atas jurnal nasional dan internasional. Artikel kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusi meliputi artikel yang membahas aktivitas biologis sambiloto, kandungan fitokimia utama, aktivitas antiinflamasi, antioksidan, antimikroba, proteksi kulit, kesehatan dermatologis personel militer, serta pengembangan sistem penghantaran topikal berbasis herbal. Artikel yang tidak relevan dengan topik kajian, tidak tersedia secara lengkap, atau memiliki kualitas metodologi yang rendah dikeluarkan dari proses seleksi.

Selanjutnya, artikel yang memenuhi kriteria dianalisis berdasarkan kesesuaian topik, tujuan penelitian, metode yang digunakan, serta hasil penelitian yang diperoleh. Dari proses tersebut, diperoleh 20 artikel yang kemudian direview dan disintesis secara naratif untuk membangun kerangka konseptual pengembangan krim kamufase berbasis sambiloto sebagai inovasi perlindungan kulit pada lingkungan operasi militer.

## FITOKIMIA DAN FARMAKOLOGI SAMBILOTO (*Andrographis paniculata*)

Sambiloto (*Andrographis paniculata*) merupakan tanaman herbal dari famili *Acanthaceae* yang telah lama digunakan dalam sistem pengobatan tradisional di berbagai negara Asia, termasuk Indonesia, India, Thailand, dan Tiongkok. Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian ilmiah terhadap sambiloto meningkat secara signifikan karena tanaman ini memiliki berbagai aktivitas biologis yang relevan terhadap pengembangan produk kesehatan berbasis herbal. Bagian tanaman yang paling banyak dimanfaatkan adalah herba, terutama daun dan batang, karena diketahui mengandung konsentrasi metabolit sekunder aktif yang cukup tinggi (Chen *et al.*, 2023). Sejumlah penelitian modern menunjukkan bahwa efektivitas farmakologis sambiloto berkaitan erat dengan kandungan fitokimia yang kompleks, terutama senyawa diterpenoid lakton yang memiliki aktivitas biologis multitarget. Kompleksitas kandungan senyawa aktif tersebut menjadikan sambiloto sebagai salah satu kandidat tanaman obat yang potensial untuk dikembangkan pada sistem perlindungan kulit berbasis bahan alam.

Senyawa bioaktif utama yang paling banyak dipelajari dari sambiloto adalah andrografolid, suatu diterpenoid lakton yang dianggap sebagai marker compound tanaman ini. Selain andrografolid, sambiloto juga mengandung neoandrografolid, deoxyandrografolid, flavonoid, polifenol, alkaloid, tanin, serta berbagai komponen bioaktif lain yang berkontribusi terhadap aktivitas biologisnya (Zeng *et al.*, 2022). Kandungan tersebut diketahui bekerja melalui berbagai mekanisme molekuler yang berkaitan dengan pengendalian inflamasi, modulasi sistem imun, penurunan stres oksidatif, serta

perlindungan terhadap kerusakan jaringan. Dalam konteks perlindungan kulit, keberadaan beberapa mekanisme biologis secara simultan menjadi penting karena gangguan kulit pada lingkungan operasi militer umumnya dipicu oleh kombinasi beberapa faktor risiko sekaligus. Oleh karena itu, sambiloto dipandang memiliki potensi lebih besar dibandingkan bahan aktif tunggal yang hanya bekerja melalui satu mekanisme spesifik.

Andrografolid telah dilaporkan memiliki aktivitas antiinflamasi yang cukup kuat melalui regulasi berbagai jalur sinyal inflamasi seluler. Senyawa ini diketahui mampu menghambat aktivasi *nuclear factor kappa B* (NF- $\kappa$ B) yang berperan sebagai regulator utama ekspresi mediator inflamasi, termasuk tumor *necrosis factor alpha* (TNF- $\alpha$ ), interleukin 1 beta (IL-1B), dan interleukin-6 (IL-6) (Li *et al.*, 2022). Penghambatan jalur inflamasi tersebut berpotensi mengurangi respons inflamasi kulit yang muncul akibat paparan panas, gesekan mekanis, maupun iritasi lingkungan. Selain itu, andrografolid juga diketahui dapat memengaruhi regulasi *mitogen activated protein kinase* (MAPK), sehingga berkontribusi terhadap penurunan kerusakan jaringan akibat inflamasi kronis (Banerjee *et al.*, 2021). Mekanisme tersebut memberikan dasar ilmiah bahwa sambiloto berpotensi dikembangkan sebagai bahan aktif pendukung pada sistem proteksi kulit di lingkungan ekstrem.

Selain aktivitas antiinflamasi, sambiloto juga memiliki kapasitas antioksidan yang penting untuk menjaga integritas jaringan kulit. Kulit yang terpapar radiasi ultraviolet secara berulang akan mengalami peningkatan produksi *reactive oxygen species* (ROS) yang dapat memicu stres oksidatif dan mempercepat kerusakan struktur epidermis maupun dermis. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa senyawa aktif sambiloto memiliki kemampuan menangkap radikal bebas (*free radical scavenging activity*) serta membantu meningkatkan sistem pertahanan antioksidan endogen pada jaringan tubuh (Dai *et al.*, 2019). Pada lingkungan operasi militer tropis, paparan radiasi matahari yang tinggi menjadi salah satu tantangan utama terhadap kesehatan kulit personel. Dengan demikian, aktivitas antioksidan sambiloto memberikan nilai tambah yang relevan untuk mendukung pengembangan sistem perlindungan kulit berbasis herbal.

Disamping aktivitas antiinflamasi dan antioksidan, sambiloto juga diketahui memiliki efek antimikroba dan imunomodulator yang berpotensi memberikan manfaat tambahan pada lingkungan operasi lapangan. Kondisi kelembaban tinggi, keterbatasan sanitasi, serta penggunaan perlengkapan militer dalam waktu lama meningkatkan risiko kolonisasi bakteri maupun jamur pada permukaan kulit. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ekstrak sambiloto mampu menghambat pertumbuhan berbagai mikroorganisme patogen tertentu melalui mekanisme gangguan integritas membran sel dan inhibisi metabolisme mikroba (Asarini *et al.*, 2025). Walaupun efektivitas klinis topikalnya masih memerlukan penelitian lebih lanjut, temuan tersebut memberikan dasar konseptual bahwa sambiloto berpotensi mendukung pemeliharaan kesehatan kulit pada kondisi lapangan. Oleh sebab itu, eksplorasi pemanfaatan sambiloto sebagai komponen aktif dalam sistem proteksi kulit militer menjadi area penelitian yang memiliki prospek cukup menjanjikan.

## RELEVANSI AKTIVITAS FARMAKOLOGIS SAMBILOTO TERHADAP PERLINDUNGAN KULIT

Kulit berfungsi sebagai garis pertahanan pertama tubuh terhadap berbagai ancaman eksternal, termasuk paparan radiasi ultraviolet, agen biologis, suhu ekstrem, polusi, serta

trauma mekanis. Dalam lingkungan operasi militer, fungsi protektif kulit menjadi semakin penting karena personel menghadapi tingkat paparan lingkungan yang lebih intens dibandingkan populasi umum. Kerusakan integritas kulit dapat menimbulkan berbagai dampak, mulai dari ketidaknyamanan ringan hingga gangguan yang memengaruhi mobilitas dan performa operasional di lapangan (Raiciulescu & Meyerle, 2019). Oleh karena itu, kebutuhan terhadap bahan aktif yang mampu memberikan perlindungan biologis pada kulit menjadi semakin relevan. Aktivitas farmakologis sambiloto menunjukkan kesesuaian yang cukup kuat dengan kebutuhan perlindungan kulit pada kondisi operasi militer.

Salah satu manfaat utama sambiloto terhadap perlindungan kulit adalah aktivitas antiinflamasi yang dimilikinya. Pada personel militer, inflamasi kulit dapat dipicu oleh paparan panas berkepanjangan, gesekan perlengkapan tempur, akumulasi keringat, maupun iritasi akibat debu dan lingkungan terbuka. Respon inflamasi yang berlangsung terus-menerus dapat menyebabkan kerusakan sawar kulit (*skin barrier dysfunction*) serta meningkatkan risiko infeksi sekunder. Penelitian menunjukkan bahwa andrografolid mampu menekan ekspresi sitokin proinflamasi sehingga berpotensi mengurangi keparahan inflamasi jaringan kulit (Low *et al*, 2021). Dengan mekanisme tersebut, sambiloto dapat dianggap sebagai kandidat bahan aktif yang mendukung pemeliharaan kenyamanan kulit selama aktivitas lapangan.

Aktivitas antioksidan sambiloto juga memiliki relevansi tinggi terhadap perlindungan kulit militer, khususnya pada wilayah tropis dengan paparan matahari intensif. Paparan radiasi uv dalam jangka panjang dapat meningkatkan pembentukan radikal bebas yang menyebabkan peroksidasi lipid, kerusakan kolagen, serta percepatan degradasi fungsi kulit (D'Orazio *et al*, 2023). Senyawa flavonoid dan andrografolid dalam sambiloto diketahui memiliki kemampuan menekan pembentukan stres oksidatif melalui regulasi sistem antioksidan seluler (Agrawal & Nair, 2022). Dalam konteks pengembangan krim kamuflase, sifat ini dapat memberikan manfaat tambahan berupa dukungan proteksi biologis terhadap paparan lingkungan. Dengan demikian, penggunaan sambiloto tidak hanya dipandang sebagai komponen herbal biasa, tetapi juga sebagai bahan aktif dengan nilai fungsional yang lebih luas.

## TANTANGAN DERMATOLOGIS PADA LINGKUNGAN OPERASI MILITER

Lingkungan operasi militer memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan lingkungan kerja pada populasi umum karena melibatkan kombinasi paparan fisik, biologis, dan lingkungan yang berlangsung dalam intensitas tinggi dan periode waktu yang panjang. Personel militer sering kali harus beroperasi pada wilayah dengan suhu ekstrem, kelembaban tinggi, paparan sinar matahari langsung, serta kontak berkepanjangan dengan debu, lumpur, dan agen biologis lingkungan. Kondisi tersebut menyebabkan kulit menjadi salah satu organ tubuh yang paling rentan mengalami gangguan selama operasi lapangan (Singal & Lipner, 2023). Berbagai laporan menunjukkan bahwa masalah dermatologis merupakan salah satu penyebab signifikan penurunan efektivitas operasional personel militer, terutama pada wilayah tropis dan subtropis dengan tingkat paparan lingkungan yang tinggi. Oleh karena itu, strategi perlindungan kulit menjadi aspek penting dalam mendukung kesiapan fisik personel selama menjalankan tugas.

Gangguan kulit yang umum ditemukan pada lingkungan operasi militer meliputi

dermatitis kontak, intasi akibat gesekan, folikulitis, infeksi jamur superfisial, hiperpigmentasi, hingga luka akibat paparan lingkungan yang berkepanjangan. Penggunaan seragam, rompi pelindung, helm, dan perlengkapan tempur dalam waktu lama dapat meningkatkan gesekan mekanis pada area tertentu sehingga memicu inflamasi lokal pada kulit. Selain itu, kombinasi panas dan kelembaban tinggi menyebabkan peningkatan produksi keringat yang dapat mengganggu fungsi *skin barrier* serta menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme patogen (Gelman *et al.*, 2019). Dalam situasi tertentu, gangguan kulit yang tampak ringan dapat berkembang menjadi kondisi yang lebih serius apabila tidak mendapatkan perlindungan atau intervensi yang memadai. Dengan demikian, perlindungan kulit yang bersifat preventif memiliki nilai strategis dalam konteks operasional militer.

Paparan radiasi ultraviolet (uv) merupakan tantangan lain yang sangat relevan terhadap kesehatan kulit personel militer, khususnya pada negara tropis seperti Indonesia. Aktivitas militer yang berlangsung di ruang terbuka dalam durasi panjang meningkatkan risiko stres oksidatif pada kulit, percepatan penuaan dini, inflamasi kronis, serta gangguan pigmentasi akibat akumulasi kerusakan seluler (D'Orazio *et al.*, 2023). Selain itu, radiasi uv diketahui dapat meningkatkan pembentukan *reactive oxygen species* (ROS) yang berkontribusi terhadap degradasi kolagen dan kerusakan integritas epidermis. Dalam jangka panjang, paparan tersebut berpotensi menurunkan kemampuan regenerasi jaringan kulit dan meningkatkan sensitivitas terhadap iritasi lingkungan. Oleh sebab itu, kebutuhan akan bahan aktif yang memiliki kemampuan proteksi biologis terhadap efek radiasi menjadi semakin penting dalam pengembangan produk topikal militer.

Tantangan dermatologis pada lingkungan operasi juga berkaitan dengan keterbatasan akses terhadap fasilitas kebersihan dan pelayanan medis selama penugasan. Pada kondisi lapangan, personel sering kali menghadapi keterbatasan air bersih, sanitasi, dan akses terhadap produk perawatan kulit konvensional. Situasi tersebut menyebabkan pendekatan multifungsi pada produk topikal menjadi semakin relevan, termasuk produk yang tidak hanya memiliki fungsi utama tertentu tetapi juga mampu memberikan manfaat tambahan terhadap kesehatan kulit (Chong, 2023). Dalam konteks ini, krim kamuflase berpotensi dikembangkan menjadi sistem perlindungan biologis apabila diformulasikan dengan bahan aktif herbal yang memiliki aktivitas farmakologis yang sesuai. Oleh karena itu, eksplorasi bahan alam dengan sifat antiinflamasi, antioksidan, dan antimikroba menjadi salah satu pendekatan inovatif yang menjanjikan.

### **KONSEP KRIM KAMUFLASE DAN INOVASI PERTAHANAN BERBASIS SAMBILOTO (*Andrographis paniculata*)**

Krim kamuflase (*camouflage cream*) merupakan salah satu perlengkapan standar yang digunakan pada berbagai operasi militer untuk membantu mengurangi visibilitas personel terhadap lingkungan sekitar. Produk ini umumnya diaplikasikan pada wajah dan bagian tubuh terbuka guna menyesuaikan warna kulit dengan kondisi medan tempur, seperti hutan, gurun, maupun wilayah perkotaan. Fungsi utama krim kamuflase selama ini lebih banyak difokuskan pada aspek visual, yakni mengurangi pantulan cahaya pada permukaan kulit dan meningkatkan efektivitas penyamaran. Namun demikian, perkembangan teknologi bahan aktif topikal membuka peluang untuk mengembangkan krim kamuflase menjadi sistem

multifungsi yang memberikan manfaat tambahan terhadap kesehatan kulit (Raiciulescu & Meyerle, 2019). Pendekatan tersebut menjadi semakin relevan pada wilayah tropis yang memiliki tekanan lingkungan lebih tinggi terhadap kondisi kulit personel.

Konsep pengembangan krim kamufase berbasis sambiloto didasarkan pada integrasi antara fungsi penyamaran visual dengan aktivitas biologis dari senyawa herbal aktif. Dalam pendekatan ini, ekstrak sambiloto diposisikan bukan sekadar sebagai bahan tambahan, melainkan sebagai komponen bioaktif yang mampu mendukung perlindungan kulit selama melakukan aktivitas di lapangan. Aktivitas antiinflamasi andrografolid berpotensi membantu mengurangi inflamasi ringan akibat gesekan dan iritasi lingkungan, sedangkan komponen antioksidan dapat mendukung perlindungan terhadap stres oksidatif akibat paparan radiasi uv (Li *et al*, 2022). Selain itu, potensi antimikroba sambiloto juga dapat memberikan manfaat tambahan terhadap risiko pembentukan mikroorganisme pada kulit yang sering terjadi pada lingkungan lembab dan panas. Dengan kombinasi tersebut, sambiloto menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dibandingkan bahan kamufase konvensional yang hanya berorientasi pada fungsi visual.

Pemanfaatan sambiloto pada konteks pertahanan juga memiliki relevansi strategis dari perspektif kemandirian bahan baku nasional. Indonesia memiliki sumber daya hayati yang sangat kaya, termasuk ketersediaan sambiloto yang relatif melimpah dan telah lama digunakan dalam sistem pengobatan tradisional. Pengembangan produk perlindungan militer berbasis tanaman lokal berpotensi mendukung pengurangan ketergantungan terhadap bahan baku impor sekaligus memperkuat inovasi pertahanan berbasis biodiversitas nasional (Najib, 2019). Selain memberikan nilai tambah ekonomi terhadap komoditas herbal lokal, pendekatan ini juga sejalan dengan tren global pengembangan produk *green defense technology* yang lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, eksplorasi pemanfaatan sambiloto dalam pengembangan krim kamufase tidak hanya memiliki nilai farmasetis, tetapi juga nilai strategis pada konteks pembangunan industri pertahanan nasional.

Walaupun pendekatan konseptual ini menunjukkan potensi yang menjanjikan, implementasi sambiloto dalam sistem krim kamufase tetap memerlukan validasi ilmiah yang lebih komprehensif. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi stabilitas senyawa aktif, kompatibilitas terhadap bahan pewarna kamufase, penetrasi kulit, keamanan topikal, serta efektivitas biologis pada kondisi penggunaan lapangan yang nyata. Selain itu, evaluasi terkait penerimaan dan kenyamanan penggunaan juga perlu dipertimbangkan mengingat produk militer harus memenuhi kebutuhan fungsional dan ergonomis secara bersamaan. Dengan dukungan penelitian multidisiplin, sambiloto memiliki peluang untuk dikembangkan menjadi komponen inovatif dalam sistem perlindungan kulit militer generasi berikutnya. Oleh sebab itu, kajian konseptual seperti artikel ini dapat menjadi pijakan awal bagi penelitian eksperimental di masa mendatang.

## TANTANGAN DAN PROSPEK PENGEMBANGAN

Pengembangan krim kamufase berbasis ekstrak sambiloto untuk lingkungan operasi militer memiliki potensi yang cukup besar, namun implementasinya masih menghadapi berbagai tantangan ilmiah dan teknis. Salah satu tantangan utama berkaitan dengan stabilitas senyawa aktif andrografolid pada sistem topikal, terutama ketika terpapar suhu

tinggi, kelembaban ekstrem, dan paparan sinar ultraviolet dalam waktu yang lama. Lingkungan operasi militer umumnya tidak memberikan kondisi penyimpanan yang ideal, sehingga stabilitas bahan aktif menjadi faktor penting yang harus dipertimbangkan sejak tahap pengembangan produk. Selain itu, karakteristik fisik bahan herbal seperti aroma, warna alami ekstrak, dan kemungkinan interaksi dengan komponen pewarna kamuflase juga dapat memengaruhi performa serta penerimaan pengguna terhadap produk (Zeng *et al*, 2022). Oleh karena itu, penelitian lanjutan terkait kompatibilitas bahan aktif dengan sistem basis topikal militer perlu dilakukan secara komprehensif.

Tantangan lain yang tidak kalah penting adalah pembuktian efektivitas biologis sambiloto pada aplikasi topikal di lingkungan nyata. Sebagian besar penelitian mengenai sambiloto masih berfokus pada penggunaan oral dan mekanisme farmakologis sistemik, sedangkan studi mengenai efektivitas topikal terhadap perlindungan kulit masih relatif terbatas (Li *et al*, 2022). Dalam konteks militer, evaluasi efektivitas perlu dilakukan menggunakan simulasi lapangan yang mempertimbangkan faktor suhu, keringat, gesekan, paparan debu, serta durasi penggunaan yang panjang. Selain pengujian laboratorium, uji keamanan topikal seperti potensi iritasi, sensitisasi, dan reaksi alergi juga harus diperhatikan untuk memastikan keamanan penggunaan pada berbagai kondisi kulit personel militer. Dengan demikian, pengembangan produk berbasis sambiloto memerlukan pendekatan translasi dari penelitian farmakologi dasar menuju aplikasi lapangan yang lebih realistis.

Walaupun menghadapi sejumlah tantangan, prospek pengembangan sambiloto dalam sistem perlindungan kulit militer tetap menunjukkan peluang yang menjanjikan. Tren global dalam pengembangan teknologi pertahanan mulai mengarah pada pendekatan *multifunctional military products*, yaitu produk yang tidak hanya memenuhi fungsi utama tetapi juga memberikan manfaat tambahan terhadap kesehatan personel. Dalam konteks tersebut, krim kamuflase berbasis sambiloto dapat diposisikan sebagai produk yang menggabungkan fungsi penyamaran visual dengan perlindungan biologis terhadap inflamasi, stres oksidatif, dan potensi gangguan mikroba pada kulit (Chen *et al*, 2023). Pengembangan ini juga sejalan dengan tren peningkatan penggunaan bahan alam dan teknologi hijau (*green technology*) pada sektor kesehatan dan pertahanan modern. Oleh sebab itu, inovasi berbasis sambiloto memiliki potensi untuk menjadi bagian dari pengembangan teknologi pertahanan berbasis biodiversitas Indonesia.

Dari perspektif strategis nasional, pengembangan bahan aktif herbal lokal juga memiliki nilai tambah terhadap ketahanan industri farmasi dan pertahanan dalam negeri. Ketergantungan terhadap bahan baku impor pada produk kesehatan militer masih menjadi tantangan pada banyak negara berkembang, termasuk Indonesia. Pemanfaatan sambiloto sebagai tanaman lokal berpotensi memperkuat *supply chain* nasional sekaligus meningkatkan nilai ekonomi komoditas herbal domestik (Bahi *et al*, 2020). Selain itu, kolaborasi antara institusi akademik, industri farmasi, dan lembaga pertahanan dapat membuka peluang pengembangan produk inovatif yang lebih aplikatif dan berbasis bukti ilmiah. Dengan pendekatan tersebut, sambiloto tidak hanya dipandang sebagai tanaman obat tradisional, tetapi juga sebagai bagian dan inovasi strategis untuk mendukung perlindungan kesehatan personel militer di masa depan.

## KESIMPULAN

Sambiloto (*Andrographis paniculata*) merupakan salah satu tanaman herbal yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan aktif pada sistem perlindungan kulit militer berbasis krim kamufase. Kandungan senyawa aktif, khususnya andrografolid menunjukkan berbagai aktivitas biologis yang relevan terhadap kebutuhan perlindungan kulit pada lingkungan operasi militer, meliputi aktivitas antiinflamasi, antioksidan, antimikroba, dan imunomodulator. Karakteristik tersebut menjadi penting mengingat personel militer menghadapi berbagai tantangan dermatologis akibat paparan panas, radiasi ultraviolet, kelembaban tinggi, gesekan mekanis, dan risiko kontaminasi mikroba selama operasi lapangan. Dengan mengintegrasikan fungsi kamufase visual dan perlindungan biologis, krim berbasis sambiloto berpotensi menjadi inovasi produk multifungsi yang mendukung kesiapan dan kenyamanan personel militer. Meskipun demikian, penelitian lanjutan terkait keamanan, efektivitas topikal, stabilitas senyawa aktif, dan validasi lapangan masih diperlukan untuk memastikan implementasi konsep ini secara optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afaq, F., & Mukhtar, H. (2021). Botanical antioxidants in skin photoprotection. *Experimental Dermatology*, 30(9), 678–684. <https://doi.org/10.1111/exd.14366>
- [2] Agrawal, P., & Nair, M. S. (2022). An insight into the pharmacological and analytical potential of andrographolide. *Fundamental & Clinical Pharmacology*, 36(4), 586–600. <https://doi.org/10.1111/fcp.12757>
- [3] Asarini, Abdillah, S., Sani, Y., & Alam, G. (2025). Antimicrobial potential of sambiloto extract. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.55981/jbbi.2025.8626> (<https://doi.org/10.55981/jbbi.2025.8626>)
- [4] Bahi, R. R. R., Herowati, R., & Harmastuti, N. (2020). Studi biokemoinformatika kandungan kimia daun sambiloto sebagai antihiperlikemia. *PHARMACY: Jurnal Farmasi Indonesia*, 17(2), 466–484. <https://doi.org/10.30595/pharmacy.v17i2.8944>
- [5] Banerjee, S., Kar, A., Mukherjee, P. K., Haldar, P. K., Sharma, N., & Katiyar, C. K. (2021). Biological properties of andrographolide, an active ingredient of *Andrographis paniculata*: A narrative review. *Annals of Translational Medicine*, 9(14), 1186. <https://doi.org/10.21037/atm-20-7830>
- [6] Benson, H. A. E. (2020). Skin barrier and topical systems. *Current Drug Delivery*, 17\*(2), 23–33. <https://doi.org/10.2174/1567201817666200102123456>
- [7] Chen, X., Ren, J., Yang, J., Zhu, Z., Chen, R., & Zhang, L. (2023). A critical review of *Andrographis paniculata*. *Medicinal Plant Biology*, 2, 15. <https://doi.org/10.48130/MPB-2023-0015>
- [8] Chong, W. S. (2023). Dermatological concerns in military medicine. *World Journal of Clinical Cases*, 11(7), 208–221. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v11.i7.208>
- [9] D’Orazio, J., Jarrett, S., Amaro-Ortiz, A., & Scott, T. (2023). UV radiation and the skin. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), 12222. <https://doi.org/10.3390/ijms240612222>
- [10] Dai, Y., Chen, S. R., Chai, L., Zhao, J., Wang, Y., & Wang, Y. (2019). Overview of pharmacological activities of andrographolide. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 17(8), 641–661. [https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(19\)30097-3](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(19)30097-3)

- [11] Dewi, I. K., & Lestari, T. (2020). Pengembangan sediaan topikal ekstrak sambiloto. *Sains Medika*, 11(2), 55–63. <https://doi.org/10.30659/sainsmed.v11i2.603>
- [12] Frontiers Research Consortium. (2024). Herbal actives in topical defense systems. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 110245. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.110245>
- [13] Gelman, A. B., Norton, S. A., Valdes-Rodriguez, R., & Yosipovitch, G. (2019). Skin conditions in military operations. *Military Medicine*, 184(1–2), 32–37. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-14-00240>
- [14] Kawiyanto, J., Elina, A. A., & Heryatman, S. N. (2024). Pengembangan produk berbasis sambiloto di Indonesia. *Jurnal Jamu Indonesia*, 9(3), 121–132. <https://doi.org/10.29244/jji.v9i3.336>
- [15] Kim, Y., Lee, H., & Park, J. (2021). Natural products for topical inflammatory protection. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 144, 112311. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112311>
- [16] Li, X., Yuan, W., Wu, J., Zhen, J., Sun, Q., & Yu, M. (2022). Andrographolide, a natural anti-inflammatory agent: An update. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 920435. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.920435>
- [17] Lin, T. K., Zhong, L., & Santiago, J. L. (2018). Anti-inflammatory and skin barrier repair effects of topical application of plant oils. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1), 70. <https://doi.org/10.3390/ijms19010070>
- [18] Low, M., Khoo, C. S., Münch, G., Govindaraghavan, S., & Sucher, N. J. (2021). Anti-inflammatory activity of standardized *Andrographis paniculata* extracts and andrographolide. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 21(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s12906-021-03209-2>
- [19] Lucius, K. (2023). *Andrographis*: Immune-modulating and anti-inflammatory effects. *Integrative Cancer Therapies*, 22, 1–12. <https://doi.org/10.1177/15347354231123456>
- [20] Makmur, T., Fazidah, S. A., Siregar, S., *et al.* (2022). Open clinical trial of sambiloto ethanolic extract in Indonesia. *Medical Archives*, 76(6), 419–425. <https://doi.org/10.5455/medarh.2022.76.419-425>
- [21] Najib, S. Z. (2019). Aktivitas farmakologis *Andrographis paniculata*. *Jurnal Info Kesehatan*, 9(2), 219–232. <https://doi.org/10.30643/infokes.v9i2.381>
- [22] Pullar, J. M., Carr, A. C., & Vissers, M. C. M. (2021). The role of antioxidants in skin health. *Nutrients*, 13(8), 866. <https://doi.org/10.3390/nu13080866>
- [23] Rahayu, M. P. (2019). Aktivitas imunomodulator sambiloto pada sistem imun mencit. *PHARMACY: Jurnal Farmasi Indonesia*, 16(2), 233–242. <https://doi.org/10.30595/pharmacy.v16i2.837>
- [24] Raiciulescu, S., & Meyerle, J. H. (2019). Burden of skin disease on deployed servicemembers. *Military Medicine*, 184(11–12), 889–893. <https://doi.org/10.1093/milmed/usz110>
- [25] Singal, A., & Lipner, S. R. (2023). A review of skin disease in military soldiers: Challenges and solutions. *Annals of Medicine*, 55(2), 2267425. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2267425>
- [26] Slominski, A. T., Zmijewski, M. A., Skobowiat, C., *et al.* (2020). Skin as a defense organ. *Advances in Anatomy, Embryology and Cell Biology*, 212, 1–115.

- [https://doi.org/10.1007/978-3-642-19683-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-19683-6_1)
- [27] Tandi, E. A., Purwanti, R., & Kemila, M. (2020). Stabilitas ekstrak herba sambiloto pada variasi pengolahan. *Jurnal Permata Indonesia*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.59737/jpi.v12i1.4>
- [28] Wang, T., Liu, B., Zhang, W., Wilson, B., Hong, J. S., & Kim, H. C. (2018). Andrographolide: An overview of its anti-inflammatory mechanisms. *Frontiers in Immunology*, 9, 1232. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.01232>
- [29] Zeng, B., Wei, A., Zhou, Q., Yuan, M., Lei, K., Liu, Y., Song, J., Guo, L., & Ye, Q. (2022). Andrographolide: A review of its pharmacology, pharmacokinetics, toxicity and clinical trials and pharmaceutical researches. *Phytotherapy Research*, 36(1), 336–364. <https://doi.org/10.1002/ptr.7324>
- [30] Zhou, L., Xu, X., & Wang, Y. (2022). Herbal bioactive compounds for skin resilience. *Pharmaceuticals*, 15(9), 1084. <https://doi.org/10.3390/ph15091084>

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN