

Modifikasi Jubah Tembus Pandang Militer Dengan Memanfaatkan Material Kristal Anisotropik (Kalsit [CaCO₃])

Lidya Ananda Talalu^{1*}, Alexcandro Hibertus Sianipar² & Sovian Aritonang³

^{1,2,3}Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Pertahanan Republik Indonesia

*Email: lidyaananda2033@gmail.com

ABSTRACT

The need for camouflage technology in the military is becoming increasingly urgent due to advancements in technology. Particularly in disguise operations, more sophisticated efforts are required to assist military personnel. Replacing facial camouflage gel with cloaks is considered more efficient as it can cover larger portions of soldiers' bodies. Therefore, an invisible cloak is developed utilizing anisotropic crystal materials, specifically calcite crystals (CaCO₃), which work through light reflection to make the cloak's wearer appear invisible when light reflects off the cloak. With the help of transformational optics, this invisible cloak operates by bending the light wave paths around the object to be concealed.

Keywords: Military personnel, camouflage, calcite crystals (CaCO₃), invisible cloak, transformational optics

PENDAHULUAN

Tentara Nasional Indonesia (TNI) merupakan angkatan bersenjata dengan isi sekumpulan orang-orang terpilih yang memiliki kewajiban untuk mempertahankan kedaulatan dan menjaga keamanan negara. Untuk melakukan hal itu, diperlukan dukungan logistik yang memadai masing-masing personil untuk mempermudah kegiatan lapangan seperti proses latihan dan penyerangan, salah satunya adalah keperluan kamuflase atau penyamaran. Selama ini, para prajurit TNI biasanya menggunakan gel *pidih* dan *lotho* untuk menyamarkan bagian kulit wajah dan tangan agar terlihat seperti menyatu dengan seragam yang digunakan. Akan tetapi hal tersebut masih dianggap kurang efisien karena gel tersebut dapat luntur jika terkena air, yang menjadikan para prajurit TNI harus memakainya berulang kali.

Kamuflase adalah metode penyamaran yang bisa berupa perubahan bentuk, warna yang bertujuan agar sulit atau tidak dikenali oleh pihak lain yang melibatkan sistem visual dan persepsi mata manusia [1]. Kamuflase atau penyamaran juga menjadi hal yang sangat dibutuhkan oleh seorang prajurit TNI, terutama pada siang hari. Tidak hanya membutuhkan keterampilan dalam menyamar, melainkan dukungan logistik juga dibutuhkan untuk mempermudah penyamaran. Dengan terampil melakukan penyamaran, akan menyulitkan lawan untuk mengenali seorang prajurit TNI, sehingga meminimalisir resiko penyerangan dari lawan dan mempermudah mempercepat perpindahan lokasi karena tersamarkan.

Optik transformasi adalah metode untuk merancang media elektromagnetik kompleks secara konseptual dengan menawarkan peluang untuk mengendalikan gelombang elektromagnetik [2]. Berbagai perangkat konvensional dapat dirancang dengan pendekatan optik transformasi, termasuk penggeser cahaya, pembelok cahaya, pemisah cahaya, lensa pemfokusan, dan struktur konsentrasi gelombang elektromagnetik. Meskipun memiliki sifat yang khas dengan struktur optik transformasi, salah satu konsep paling menarik dan belum pernah ada sebelumnya adalah mampu menyembunyikan objek dari deteksi gelombang elektromagnetik. Fenomena perangkat optik serta elektromagnetik yang baru akan memunculkan tren dan teknik ilmiah baru di masa depan. Seiring dengan kemajuan media elektromagnetik buatan (seperti metamaterial dan metasurface), banyak perangkat optik inovatif yang dirancang dan berhasil diuji eksperimental untuk digunakan dalam aplikasi tertentu, seperti jubah tembus pandang dan *wormhole* elektromagnetik [3].

Kristal anisotropik adalah golongan kristal yang mempunyai sifat-sifat tertentu yang berubah dengan arah. Cara atom atau ion tersusun dengan cermat dalam pola yang teratur pada keadaan padat mendefinisikan struktur kristal suatu material. Struktur ini memengaruhi berbagai sifat fisik,

seperti kekuatan dan kelenturan [4]. Salah satu sifat yang tergantung pada arah adalah kecepatan cahaya. Cahaya akan terurai menjadi dua komponen dengan arah yang berlainan dan kecepatan berbeda, salah satu contohnya adalah kristal kalsit (CaCO_3). Mineral kalsit atau kristal kalsit adalah mineral dengan komposisi kimia CaCO_3 yang dapat dijumpai dalam keadaan murni ataupun tidak, dikarenakan adanya kandungan mineral pengikat atau pengotor. Keterbentukannya sendiri yaitu dari proses perubahan dari batu gamping yang mengalami pelarutan kemudian mengalami pengendapan dan mengkristal [5]. Bahan kalsit memiliki peran penting dalam bidang pertanian dan fisika bumi, karena berperan dalam analisis fisika tanah [6]. Kristal kalsit memiliki kelebihan, seperti akan berpendar di bawah sinar ultraviolet dan akan bercahaya saat tergores.

Untuk penyempurnaan bentuk abstrak dari kristal kalsit ini dilakukan teknik analisis dalam difraksi sinar-X (XRD) atau difraksi neutron yang digunakan untuk menyempurnakan struktur material kristal yang tidak beraturan [7]–[9]. Berawal dari analisis penghalusan (*refinement*) dengan program RIETAN dilakukan dengan memasukkan dua jenis data, yaitu parameter struktur dan intensitas difraksi sinar-X [10]. Sebelum dianalisis, dilakukan peremukan, penghalusan, pengayakan, dan pemanasan. Kemudian dicuci dengan cara *refluks* dan dimurnikan dengan metode ekstraksi menggunakan metil iodida untuk menyempurnakan bentuk kristal, yang disebut zeolit murni. Prinsip dari metode refluks adalah pelarut yang digunakan akan menguap pada suhu tinggi, kemudian didinginkan dengan kondensor sehingga yang awalnya berbentuk uap akan mengembun pada kondensor dan turun lagi ke dalam wadah reaksi sehingga pelarut akan tetap ada selama proses refluks terjadi. Lalu disaring dan difiltrat menggunakan rotary evaporator dan dikeringkan dalam oven [11].

Penelitian sebelumnya pernah merancang jubah tembus pandang 2D dengan transformasi poliedral seperti yang telah dilakukan oleh Bin Zheng et al. Mereka merancang jubah tembus pandang berdasarkan pandangan manusia dari tiga arah ortogonal. Akan tetapi memiliki hambatan dalam menciptakan jubahnya, seperti keterkaitan komponen elektromagnetik cahaya karena harus memerlukan penggunaan material yang kompleks. Dimana komponen elektromagnetik ini tidak saling terkait dalam penyebaran cahaya difus sehingga material kompleks sulit digunakan. Akan tetapi mereka menyederhanakan desain jubah tembus pandang yang dibuat dalam skala besar menggunakan material yang homogen dan isotropik.

Sekarang ini dalam dunia serba teknologi, para prajurit TNI membutuhkan bantuan logistik yang lebih modernisasi, terlebih lagi soal penyamaran. Jika selama ini hanya berpacu pada gel *pidih* dan *lotho*, kali ini penulis mengusungkan suatu ide sebagai tujuan dari penelitian ini dengan memodifikasi jubah tembus pandang dengan memanfaatkan material-material pertahanan. Dengan adanya material kristal anisotropik, khususnya kristal kalsit (CaCO_3), diharapkan mampu mendukung bahan-bahan lainnya dalam pembentukan jubah tembus pandang. Dikarenakan sifatnya yang mampu memantulkan cahaya, sehingga jubah yang digunakan akan tersamarkan dalam berbagai medan lokasi dengan adanya bantuan cahaya. Selain itu, penggunaan kristal pada teknologi tidak hanya bermanfaat untuk keperluan kamuflase atau penyamaran, tetapi juga dapat digunakan sebagai perlindungan. Beberapa jenis kristal dipercaya memiliki kekuatan fisik yang cukup tinggi karena mampu menahan kondisi ekstrim, sehingga selain dapat digunakan sebagai penyamaran, jubah tembus pandang dengan bahan kristal ini bisa memberikan perlindungan tambahan terhadap panas, ledakan, dan senjata tertentu. Pengimplementasian metamaterial anisotropik ini pada gelombang elektromagnetik merupakan keunggulan jubah yang mampu memberikan penerapan praktis perangkat jubah tembus pandang pada skala besar di ruang bebas di masa depan. Dengan menggabungkan sifat fisik kristal dan keunggulan optik, ide ini bisa menjadi solusi multifungsi dalam pertempuran modern yang semakin canggih akan teknologi.

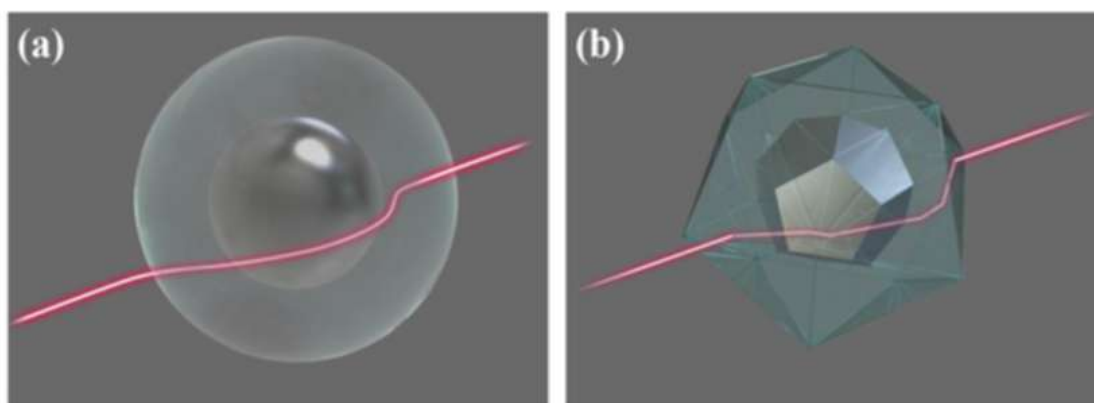
Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi sistem penyamaran atau kamuflase para prajurit TNI. Dengan memanfaatkan bahan material pertahanan, khususnya kristal kalsit (CaCO_3), diharapkan dapat menunjang kegiatan latihan maupun pertempuran dunia militer sesuai dengan tingkat modernisasi. Dengan itu, militer Indonesia mampu bersaing dengan kecanggihan teknologinya untuk menjaga pertahanan dan keamanan Negara Kesatuan Republik Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum, rancangan jubah tembus pandang modern berasal dari optik transformasi yang membuat jubah tersebut tersamarkan karena adanya aliran cahaya yang mengelilingi objek yang tersembunyi tersebut [12]. Tidak lama kemudian, banyak sekali ilmuwan yang mulai berfokus tentang rancangan jubah tembus pandang ini, seperti jubah silinder 2D sederhana yang terbuat dari resonator cincin terpisah pada spektrum gelombang mikro. Akan tetapi, banyak mengalami penurunan akibat komposisi metamaterial besar yang memiliki anisotropi, ketidakhomogenan, dan parameternya ekstrim.

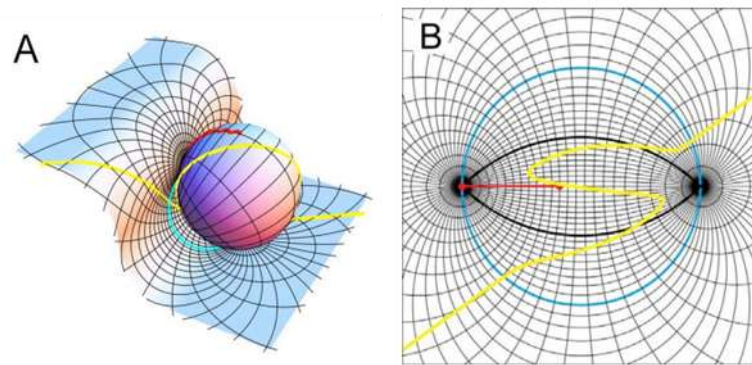
Ide untuk memanfaatkan pelapis dengan permivitas rendah untuk menghasilkan kamufase telah dieksplorasi dengan penutup plasmonik dan metamaterial dengan bahan yang memiliki permeabilitas negatif atau rendah dalam kasus hamburan objek [13]. Hamburan objek adalah suatu kasus dimana terdapat fenomena gelombang, seperti gelombang suara, cahaya, atau elektromagnetik yang mengenai suatu objek sehingga mengalami perubahan intensitas dan arah. Hal ini terjadi ketika suatu gelombang bertemu dengan suatu objek yang ukurannya sebanding. Dalam konteks teknik penyamaran pada jubah tembus pandang, meminimalisir hamburan dari objek dapat membuat jubah tersebut tidak terlihat oleh pengamat.

Eksperimen lain juga dilakukan oleh Bin Zheng dkk 2011 [14] yang merancang jubah 3D dengan melakukan transformasi polihedral 3D dan melakukan pendekatan yang melibatkan diskretisasi indeks bias yang tidak bervariasi secara spasial. Sebelumnya, mereka sudah membuat rancangan jubah 2D melalui spektrum cahaya yang terbuat dari bahan isotropik, akan tetapi dimodifikasi ulang menjadi model 3D yang disebut jubah sferis yang menggambarkan suatu perangkat atau material yang mampu menyembunyikan objek dengan menggunakan teknologi optik untuk membengkokkan cahaya disekitarnya.



Gambar 1. (a) Jubah sferis yang mengarahkan cahaya dengan mulus di sekitar area tersembunyi. (b) Jubah polihedral yang membelokkan cahaya di batas-batas segmen yang berbeda untuk secara sempurna melewati area tersembunyi.

Pembelokkan cahaya dalam material bisa menyebabkan banyak ilusi optik, termasuk penyamaran. Sebuah material transparan yang mengarahkan cahaya di sekitar objek tanpa mendistorsi cahaya, maka objek tersebut akan menghilang dari pandangan [15]. Salah satu cara untuk mencapai hal ini adalah dengan membuat material bergerak sebagai transformasi koordinat ruang. Jubah akan merapatkan sisi koordinat yang mengelilingi objek menjadi satu titik yang tidak nampak. Contoh dimana pada bentuk geometri mampu secara alami mengarahkan cahaya di sekitar objek.



Gambar 2. (a) Mengilustrasikan geometri yang terlibat. (b) Menunjukkan implementasinya.

Berdasarkan transformasi koordinat linear, tampak mata manusia tidak sensitif terhadap fase dan polarisasi cahaya. Sehingga sudah terdapat rancangan jubah tembus pandang dengan memanfaatkan gelombang permukaan broadband berdasarkan optik transformasi dan metamaterial yang dapat mengarahkan gelombang ke arah sudut yang tajam tanpa kehilangan hamburan objek [16]. Dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik berskala besar dan gabungan optik transformasi, Liqiao et al mampu merancang jubah silindris *subwavelength* tradisional, dari frekuensi gelombang mikro hingga frekuensi far-inframerah bahkan dalam spektrum tampak, dari gelombang bidang normal di ruang bebas hingga gelombang elektromagnetik permukaan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi jubah 3D yang sudah dirancang oleh Bin Zheng edkk tahun 2018 dan para ilmuwan lainnya yang telah menciptakan jubah tembus pandang 2D melalui transformasi poliedral 3D yang disebut jubah sferis dengan memanfaatkan teknologi optik untuk membelokkan cahaya. Melalui pembelajaran yang mendalam, memungkinkan penemuan model-model baru dalam memodifikasi jubah tersebut dengan kemampuan generalisasi yang baik. Selain itu, pemahaman pada bidang metamaterial juga diperlukan.

Oleh karena itu, penulis merancang desain struktural jubah tembus pandang terbaru dengan menambahkan material kristal anisotropik, khususnya kristal kalsit (CaCO_3) yang memiliki kelebihan mampu berpendar di bawah sinar ultraviolet dan justru akan bercahaya jika tergores. Selain sebagai kamuflase, jenis kristal ini dianggap memiliki sifat yang kuat, tahan panas dan ledakan, dan serangan senjata kecil sehingga mampu memberikan perlindungan tambahan kepada para prajurit TNI. Dengan membuat kristal kalsit menjadi serpihan-serpihan kecil dengan metode rietveld, kemudian disusun dan ditempel pada bagian terluar kain jubah untuk menahan panasnya matahari dan membelokkan cahaya. Sehingga, sangat cocok untuk mengatasi ketidaksempurnaan rancangan jubah tembus pandang sebelumnya.

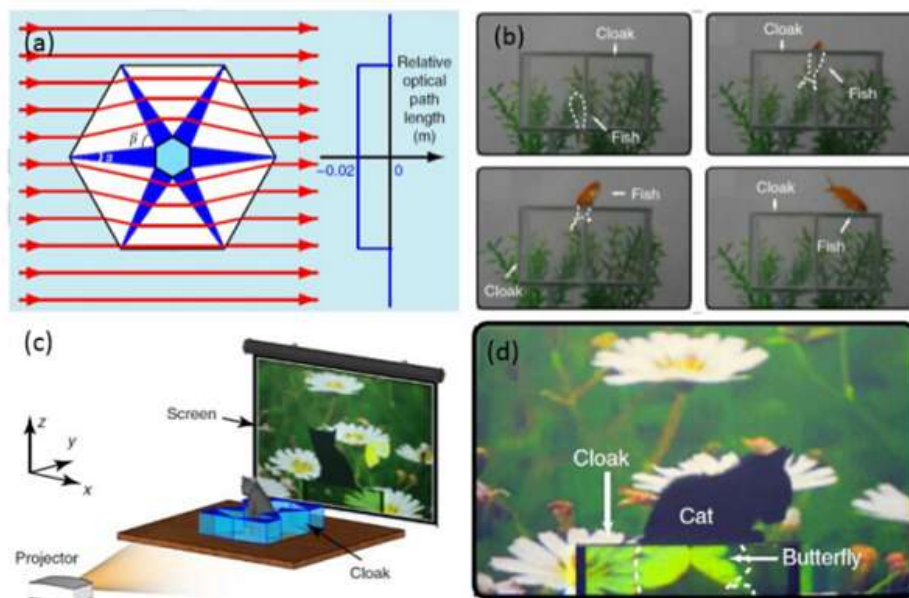
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan kecanggihan teknologi di masa sekarang, kebutuhan para prajurit TNI semakin meningkat berdasarkan tingkat modernitasnya. Keperluan akan logistik yang mendukung latihan dan penyerangan terhadap musuh tak hanya melalui perbekalan senjata, penyamaran atau kamuflase juga menjadi *basic* dari dukungan alat utama sistem persenjataan. Tidak hanya keterampilan bersembunyi yang dibutuhkan, bantuan logistik dalam bentuk barang juga diperlukan. Oleh karena itu, rancangan jubah tembus pandang ini sangat menarik perhatian banyak prajurit TNI karena dianggap lebih efisien dibandingkan penggunaan gel penyamaran. Cara pemakaiannya yang lebih mudah juga menambah ketertarikan pengguna karena hanya tinggal disampirkan saja ke tubuh pengguna. Selain itu, jubah tembus pandang ini dapat digunakan dalam berbagai medan, tak hanya di hutan tetapi bisa di perkotaan, sungai, lembah, gunung, dan tempat lainnya yang terkena sinar matahari.

Modifikasi bahan material yang digunakan oleh peneliti ini adalah dengan kristal anisotropi, khususnya kristal kalsit (CaCO_3) karena mampu membelokkan cahaya dengan baik

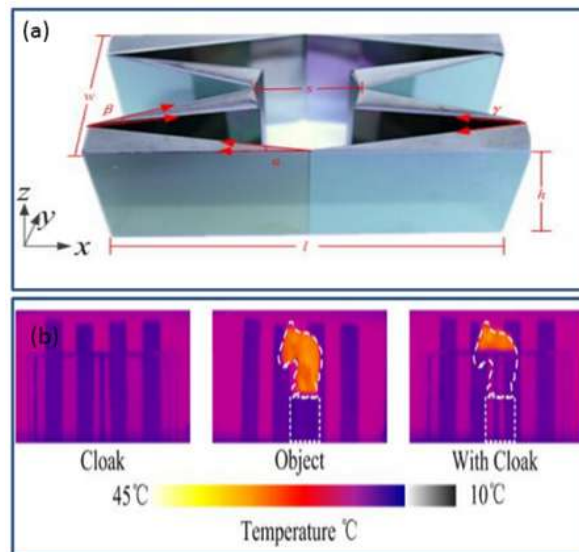
sehingga jubah akan lebih tersamarkan. Sifat lainnya seperti kuat, tahan panas, ledakan, serangan senjata kecil, dan justru akan lebih bercahaya jika tergores juga membuktikan bahwa dengan menambahkan material kristal kalsit ini dianggap mampu menyempurnakan desain jubah tembus pandang sebelumnya. Berawal dari penyempurnaan bentuk kristal yang abstrak dengan metode rietveld, dilakukan peremukan, penghalusan, pembentukan ulang kristal melalui pemanasan selama 3 jam di suhu 200 °C untuk dicairkan. Kemudian dilakukan metode refluks untuk didinginkan dengan kondensor dan disaring kemudian dipanaskan dikeringkan dalam oven dengan suhu 50 °C selama 2 hari.

Dengan dukungan optik transformasi dapat membantu material kristal kalsit ini untuk membelokkan cahaya dengan baik. Metode transformasi memungkinkan perancangan jubah tembus pandang yang dapat membuat objek makroskopis menjadi tidak terlihat. Demonstrasi eksperimental pertama perancangan jubah ini menggunakan frekuensi gelombang (Wenshen Cai, 2007). Prinsip dasarnya adalah mengubah arah lintasan cahaya agar tampak seolah-olah tidak ada apapun di tempat objek berada.



Gambar 3. (a) Diagram sinar cahaya yang melewati jubah dalam lingkungan akuatik. (b) Hasil eksperimen. (c) Pengaturan eksperimen untuk menguji kinerja jubah. (d) Hasil eksperimen jubah dalam lingkungan darat.

Jalur sinar dirancang agar cahaya mengelilingi objek yang tersembunyi di dalam jubah sehingga objek tersebut tidak terlihat dari luar. Ketika cahaya mengenai permukaan kristal kalsit dan bahan optik akan terpantulkan dan jubah terlihat samar. Dilakukan uji coba dengan bantuan proyektor untuk memungkinkan analisis yang lebih akurat mengenai efektifitas jubah dalam menyembunyikan objek di berbagai posisi dan sudut pandang. Objek akan terlihat menghilang atau berbaaur dengan latar belakang bahkan dalam lingkungan alami yang kompleks mampu menyamarkan objek dari pandangan. Validitas kinerja kamuflase sangat bergantung pada lingkungan latar belakang objek tersebut [17].



Gambar 4. (a) Diagram skematik dari pengaturan eksperimen (b) Tikus ditempatkan di dalam jubah dengan kepalanya tidak tertutup jubah untuk perbandingan. Garis putus-putus menunjukkan tubuh tikus dan silinder logam. Pola terdiri dari empat persegi panjang logam.

Dapat dilihat pada Gambar 4 (b). menunjukkan bahwa panas sangat berpengaruh terhadap kesamaran jubah. Ketika suhu mencapai di atas 40 derajat, objek mulai terlihat terkamuflase ketika tertutup oleh jubah tembus pandang tersebut. Hal itu menunjukkan bahwa dengan suhu tersebut, cahaya yang terpantulkan di sekitar ruangan sangat terang. Semakin terang cahaya yang keluar maka panas yang dihasilkan besar juga, akan tetapi material kristal kalsit ini mampu menahan panasnya matahari tersebut. Sehingga pengguna akan merasa tersamarkan dengan aman dan nyaman.

KESIMPULAN

Dengan semakin berkembangnya kecanggihan teknologi, maka diperlukan adanya logistik militer yang mampu menyesuaikan modernisasi dunia. Dalam hal ini, kemampuan kamuflase sangat dibutuhkan bagi para prajurit TNI, baik itu untuk latihan atau melakukan penyerangan terhadap musuh agar meminimalkan resiko terkena serangan dari musuh. Sejauh ini, kamuflase yang sering digunakan oleh para prajurit TNI adalah dengan gel pidih dan lotho atau bantuan ketersediaan alam seperti, ranting pohon, daun, rumput, dll. Cara tersebut masih dianggap kurang efisien karena membutuhkan waktu yang lama dalam mengaplikasikannya. Oleh karena itu, dirancang jubah tembus pandang untuk memudahkan para prajurit TNI dalam bersembunyi dari musuh. Dengan modifikasi rancangannya sebelumnya, penulis menambahkan bahan kristal anisotropik, khususnya kristal kalsit (CaCO_3) yang bekerja dengan membelokkan cahaya sehingga jubah terlihat tersamarkan dan justru akan bercahaya jika tergores. Sifatnya yang tahan panas, tahan ledakan dan serangan senjata kecil ini juga mampu diaplikasikan di berbagai medan, tak hanya area hutan, tetapi juga bisa diaplikasikan di wilayah perkotaan, pegunungan, dll.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. A. ALAJI, "TINGKAT KAMUFLASE PAKAIAN DINAS LAPANGAN TNI ANGKATAN DARAT PADA BERBAGAI TIPE HABITAT." Universitas Gadjah Mada, 2019.
- [2] R. Liu, C. Ji, J. J. Mock, J. Y. Chin, T. J. Cui, and D. R. Smith, "Broadband ground-plane cloak," *Science (80-.)*, vol. 323, no. 5912, pp. 366–369, 2009.
- [3] F. Sun *et al.*, "Transformation optics: From classic theory and applications to its new

- branches,” *Laser Photon. Rev.*, vol. 11, no. 6, p. 1700034, 2017.
- [4] O. V. Ilchenko, O. Brusakova, Y. Burchenko, A. Yaroshenko, and Y. Bagan, “The role of a defence industry in the system of national security: case study,” 2021.
- [5] W. J. M. Bay and L. Pulungan, “Pemanfaatan Bahan Galian Mineral Kalsit Berdasarkan Karakteristik Sifat Fisik di Cikembar Sukabumi,” *J. Ris. Tek. Pertamb.*, pp. 41–48, 2022.
- [6] S. Y. Irzaman, M. Hikam, W. Loeksmanto, and M. Barmawi, “Analisis struktur kristal dan full width half maximum (Fwhm) dengan metode rietveld (Studi Kasus: Kalsit (CaCO₃)),” *J. Kontribusi Fis. Indones. ITB Bandung*, vol. 11, no. 2, pp. 41–48, 2000.
- [7] R. D. W. Lubis, B. Syam, and S. Gunawan, “Simulasi Respon Mekanik Komposit Busa Polimer Diperkuat Serat Tkks Dengan Variasi Konsentrasi Al₂O₃,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 1, pp. 29–37, 2020.
- [8] I. Tanjung, “ANALISIS MORFOLOGI SERAT DAN KEKUATAN IMPAK BAHAN KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT PINANG (ARECA CATECHU) YANG TELAH DILAKUKAN PERBAIKAN SIFAT FISIK,” *VOCATECH Vocat. Educ. Technol. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, 2022.
- [9] B. Suroso and R. Rajali, “Mechanical Properties Komposit Limbah Plastik,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 2, no. 1, pp. 74–83, 2019.
- [10] S. Suminta and T. Las, “Penghalusan Struktur sangkar kristal mordenit dan klinoptilolit alam dengan metode rietveld,” *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 7, no. 2, pp. 73–78, 2018.
- [11] S. Susanty and F. Bachmid, “Perbandingan metode ekstraksi maserasi dan refluks terhadap kadar fenolik dari ekstrak tongkol jagung (*Zea mays L.*),” *J. Konversi*, vol. 5, no. 2, pp. 87–92, 2016.
- [12] C. Qian and H. Chen, “A perspective on the next generation of invisibility cloaks—Intelligent cloaks,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 118, no. 18, 2021.
- [13] A. Alù and N. Engheta, “Achieving transparency with plasmonic and metamaterial coatings,” *Phys. Rev. E—Statistical, Nonlinear, Soft Matter Phys.*, vol. 72, no. 1, p. 16623, 2005.
- [14] B. Zheng *et al.*, “3D Visible-light invisibility cloak,” *Adv. Sci.*, vol. 5, no. 6, p. 1800056, 2018.
- [15] U. Leonhardt and T. Tyc, “Broadband invisibility by non-Euclidean cloaking,” *Science (80-.)*, vol. 323, no. 5910, pp. 110–112, 2009.
- [16] L. Jing, B. Zheng, S. Xu, L. Shen, and H. Chen, “Experimental study on invisibility cloaks,” in *2016 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (iWEM)*, IEEE, 2016, pp. 1–3.
- [17] L. Shen *et al.*, “Large-Scale Far-Infrared Invisibility Cloak Hiding Object from Thermal Detection,” *Adv. Opt. Mater.*, vol. 3, no. 12, pp. 1738–1742, 2015.