

Potensi Penambahan Serat Alumina dalam Kaca Optik sebagai Doping untuk Aplikasi *Light Detection and Ranging* (LIDAR)

Safiya Djuliana^{1*}, Sovian Aritonang², Riri Muniarti³

^{1,2,3}Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Science,

Universitas Pertahanan Republik Indonesia

*Email : safiya.djuliana@mipa.idu.ac.id

ABSTRACT

The optical glass used in LiDAR applications requires specific characteristics, including high strength and low porosity, to achieve optimal performance. One promising approach is the incorporation of alumina fibers as a reinforcement in the optical glass matrix. This research investigates the potential of alumina fibers in enhancing strength and reducing porosity in optical glass used in LiDAR applications. Alumina fibers are introduced into the optical glass matrix through a precise manufacturing process. The results of mechanical testing indicate that the addition of alumina fibers significantly increases the strength of the optical glass, making it more resistant to mechanical pressure that may occur during the use of LiDAR in challenging environments.

Keywords: Alumina Fiber, Fiber Optic, Light Detection and Ranging, Porosity

PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi LIDAR (*Light Detection and Ranging*) telah berkembang pesat dalam berbagai aplikasi, termasuk pemantauan lingkungan, penginderaan jarak jauh, dan navigasi. Teknologi ini memanfaatkan sifat optik dari material kaca optik untuk menghasilkan sinyal yang akurat dan dapat diandalkan. Untuk meningkatkan kinerja perangkat LIDAR, penggunaan bahan doping telah menjadi fokus utama dalam upaya meningkatkan kemampuan deteksi dan presisi alat.

Salah satu bahan yang menarik untuk digunakan sebagai doping dalam kaca optik adalah serat alumina (Al_2O_3). Alumina memiliki sifat-sifat khusus yang menguntungkan, termasuk ketahanan suhu yang tinggi, sifat dielektrik yang baik, dan kemampuan untuk memodifikasi indeks bias kaca. Penggunaan serat alumina dalam kaca optik untuk aplikasi LIDAR telah menjadi subjek penelitian yang menarik dalam beberapa tahun terakhir.

Komposit matriks aluminium memiliki sifat, karena mempunyai berat jenis yang lebih ringan dibanding logam *ferrous* serta memiliki *performa* yang baik seperti kekuatan tinggi, kekerasan tinggi, sifat tahan aus dan koefisien ekspansi panas rendah. Dengan berkembangnya teknologi material persyaratan untuk beberapa komponen ini dapat dipenuhi melalui penggunaan material komposit matriks aluminium. Penggunaan komposit matriks alumina pada komponen otomotif dan kendaraan taktis militer, akan mampu mengurangi bobot komponen serta memiliki kekuatan yang baik, sehingga *performa* produk kendaraan tersebut menjadi lebih baik dan hemat bahan bakar [1].

Pada saat ini material optik yang digunakan pada *Light Detection and Ranging* (LIDAR) adalah *Silicon Photonics* (SiPho) muncul sebagai teknologi yang memberdayakan dalam beberapa bidang, mulai dari telekomunikasi hingga antar muka, dari biomedis hingga sensor. SiPho didasarkan pada kombinasi manipulasi foton dan komponen optik kecil yang terintegrasi ke dalam chip silikon (*Silicon on Insulator*, SOI), untuk mengarahkan radiasi elektromagnetik (EM) dengan hilangnya yang rendah dan kinerja yang tinggi. SiPho awalnya digunakan sebagai platform untuk telekomunikasi, tetapi dengan cepat berkembang untuk menawarkan penyaringan sinyal, routing, modulasi (pada 50 GHz dan lebih), dan deteksi foto (menggunakan cacat silikon atau silikon germanium [2]).

Sejalan dengan perkembangan SiPho, alumina juga telah menjadi bahan yang berpotensi untuk mendukung teknologi ini dalam pengembangan komponen optik kecil, seperti serat optik dan

lensa mikroskop, dengan tujuan mengintegrasikan alumina ke dalam chip SiPho untuk meningkatkan kinerja komponen optik tersebut.

Penggunaan alumina semakin penting dalam teknologi serat optik modern, terutama dalam perkembangan serat khusus belakangan ini. Alumina digunakan sebagai bahan doping bersama dengan unsur tanah jarang dalam serat aktif, terutama dalam pengembangan amplifier serat dengan *doping Erbium* (EDFA) yang digunakan secara luas dalam sistem transmisi serat optik, serta dalam laser serat berpenguatan tinggi yang di-dopasi Ytterbium (Yb) untuk aplikasi industri. Meskipun penggunaan alumina sebagai satu-satunya bahan doping inti dalam serat transmisi masih jarang dan terbatas dalam penelitian, ini disebabkan oleh dominasi penggunaan germania dalam aplikasi serat optik tersebut. Namun, alumina sudah lama dianggap sebagai bahan doping alternatif yang memiliki potensi untuk mengurangi kerugian transmisi dalam serat optik [3].

Dalam mengeksplorasi penggunaan serat alumina sebagai bahan doping dalam kaca optik telah menghasilkan penemuan-penemuan menarik yang meningkatkan sensitivitas dan resolusi perangkat LIDAR. Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang lebih dalam tentang potensi serat alumina sebagai bahan doping dalam kaca optik untuk aplikasi LIDAR. Karakterisasi kaca optik yang *doped* dengan serat alumina memiliki sifat-sifat yang berpotensi untuk menutupi kekurangan atas teknologi optik yang ada pada LIDAR pada saat ini.

Dalam pandangan yang lebih luas, jurnal ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi LIDAR yang lebih canggih dan akurat, yang pada gilirannya akan mendukung berbagai aplikasi penting seperti pemantauan atmosfer, pemetaan topografi, dan navigasi dengan tingkat presisi yang lebih tinggi.

METODE PENELITIAN

Jurnal ini menggunakan metode deskriptif, sehingga jurnal ini menekankan pengumpulan data dan identifikasi data. Komponen dalam metode penelitian ini ialah, mendeskripsi, menganalisis, dan mentafsirkan temuan dalam istilah yang jelas dan tepat.

Berdasarkan hasil analisis, didalam jurnal ini akan menyusun tinjauan literatur yang mencakup informasi penting tentang metode, hasil, dan aplikasi serat alumina dalam kaca optik. Tinjauan literatur ini akan menjadi dasar untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah studi analisis karakteristik alumina, guna mendapatkan informasi mengenai potensi karakteristik alumina yang sesuai untuk aplikasi kaca optik pada LIDAR. Secara lebih khusus analisis dokumen yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kajian literatur mengenai karakteristik dan potensi alumina sebagai kaca optik.

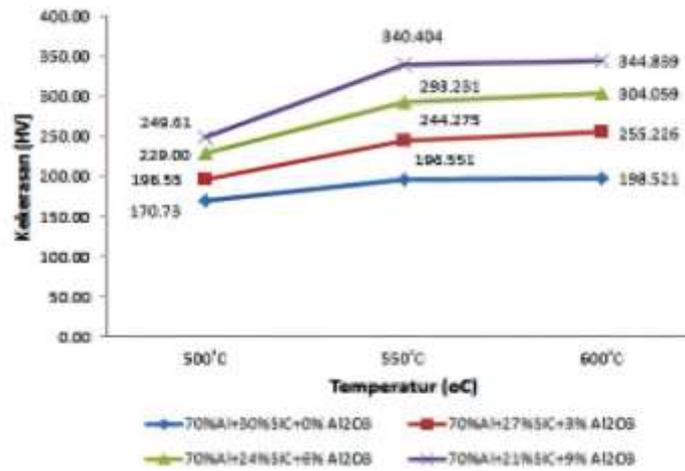
HASIL DAN PEMBAHASAN

Alumina (Al_2O_3) adalah bahan struktural yang terkenal di antara keramik fungsional dalam bidang katalisis, mikroelektronika, dan optik - baik dalam bentuk murni atau terdoping maupun dalam kombinasi dengan bahan lain. Aplikasi alumina mencakup mulai dari lapisan tipis murni dan transparan sebagai jendela optik hingga partikel, plat, dan serat sebagai penguat dalam komposit matriks logam ultra-kuat yang ringan.

Karakteristik Alumina dalam Tingkat Kekerasan

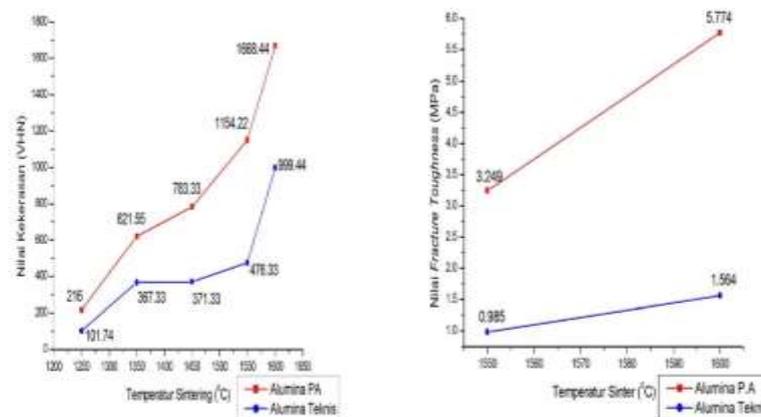
Partikel Al_2O_3 itu sendiri mempunyai nilai kekerasan lebih tinggi dari aluminium matrik, bila ditingkatkan penambahan Al_2O_3p sehingga menyebabkan kekerasan meningkat [4]. Penelitian sebelumnya berhasil menciptakan proses manufaktur untuk menghasilkan komposit berbentuk pelat yang diperkuat oleh partikel alumina. Komposit ini dibuat menggunakan matrik aluminium dengan komposisi Al-Si-Zn-Mg yang mengandung 5% fraksi volume alumina. Walaupun berhasil, teknologi yang digunakan dalam penelitian tersebut memiliki beberapa kelemahan, terutama dalam hal stabilitas suhu selama pemberian tekanan dan gaya tekan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut, seperti modifikasi dan perancangan cetakan serta peningkatan pemberian panas pada cetakan.

Penambahan alumina secara positif memengaruhi sifat mekanik, terutama kekerasan kaca optik. Partikel alumina berukuran lebih kecil daripada matriks aluminium, memungkinkan mereka tersebar merata dalam matriks, yang mendukung peningkatan kekerasan material. Hasil uji karakteristik partikel alumina didapatkan dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 1. Grafik hubungan temperatur pada penguat SiC dan Al₂O₃ terhadap kekerasan Aluminium Matrix Composite [4].

Dari gambar 1 grafik diatas dapat dilihat bahwa, terdapat data yang menggambarkan bagaimana temperatur memengaruhi komposisi persentase berat penguat SiC dan Al₂O₃ dalam matriks aluminium, serta dampaknya terhadap kekerasan komposit [5]. Kekerasan terendah pada komposit yang diperkuat oleh SiC+Al₂O₃ terjadi pada suhu 500°C dengan 0% berat Al₂O₃ dan 30% SiC sebagai penguat, mencapai 179,73 HVN. Sementara itu, pada suhu 600°C dengan 9% berat Al₂O₃ dan 21% SiC sebagai penguat, komposit mencapai kekerasan tertinggi, yaitu 344,839 HVN. Selain itu, karakteristik alumina dalam pengaruh kekuatan juga dapat dilihat dari grafik dibawah :



Gambar 2. Grafik Kekerasan dan *Fracture Toughness* [6]

Dari gambar 2 diatas dapat dilihat bahwa tingkat kekerasan akan bertambah seiring bertambahnya temperatur sintering yang terjadi akibat penambahan densitas. Kekerasan tertinggi terjadi pada kedua jenis alumina pada temperatur sintering sebesar 1600 °C. Jadi secara umum karakteristik alumina memiliki tingkat kekerasan tinggi dan tahan pada suhu tinggi. Pada grafik diatas juga dapat dilihat bahwa makin tinggi kemurnian bahan alumina maka nilai tingkat kekerasan juga semakin tinggi. Tingkat *Fracture Toughness*, pada grafik diatas menunjukkan bahwa tingginya kadar kemurnian alumina dapat meningkatkan tingkat *fracture toughness*.

Karakteristik Alumina dalam Tingkat Porositas

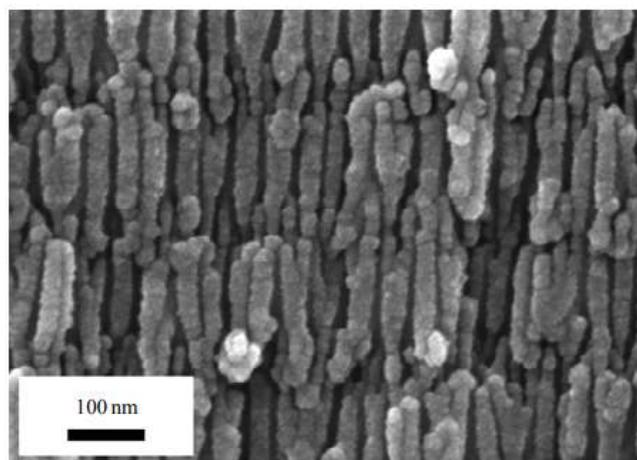
Penambahan alumina ke dalam kaca optik memiliki dampak yang signifikan pada sifat material ini. Secara khusus, penambahan alumina cenderung mengurangi tingkat porositas dalam kaca optik. Hal ini disebabkan oleh kemampuan partikel alumina yang lebih kecil untuk mengisi rongga antara partikel serbuk lainnya, mengurangi pembentukan pori-pori dalam material. Dengan peningkatan persentase alumina, kerapatan dalam komposit juga semakin terbentuk, yang pada gilirannya berkontribusi pada penurunan tingkat porositas. Dengan demikian, karakteristik partikel alumina berbentuk partikel bubuk dengan ukuran yang lebih kecil menjadikannya bahan yang berpotensi untuk meningkatkan performa kaca optik [7].

Film Alumina

Film tipis alumina amorfus dengan kualitas optik tinggi telah diendapkan pada permukaan kuarsa menggunakan teknik spray pyrolysis [8]. Film alumina anodik berstruktur nano yang bening dan berpori terbentuk secara langsung pada permukaan kaca yang telah dilapisi dengan film ITO melalui anodisasi lapisan aluminium yang diendapkan melalui penyemprotan. Struktur alumina anodik ini terdiri dari lapisan dasar yang stabil dan sejajar, memuat nanopori, lapisan penghalang tipis, dan lubang-lubang melintang, serta menunjukkan tingkat transmisi cahaya yang tinggi pada rentang UV-cahaya terlihat, berkat proses anodisasi aluminium yang dilakukan dengan sangat baik. Film alumina adalah material yang memiliki beragam aplikasi penting dalam berbagai bidang, termasuk elektronika, optik, dan perlindungan dari aus. Untuk memproduksi film alumina yang berkualitas, digunakan berbagai teknik termasuk deposisi fisik uap, deposisi uap kimia serta metode sol gel dan sebagainya. Film alumina dihasilkan dengan ketebalan yang sesuai dan karakteristik yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan aplikasinya.

Dalam elektronika, film alumina digunakan sebagai isolator dan substrat untuk perangkat semikonduktor. Sifat isolatif alumina menjadikannya pilihan yang ideal untuk memisahkan komponen elektronik yang berbeda. Di sisi lain, dalam aplikasi optik, film alumina memiliki transmisi cahaya yang baik, membuatnya berguna dalam berbagai perangkat optik, seperti lensa dan filter. Terakhir, ketahanan aus yang tinggi dari film alumina menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi yang mengalami gesekan dan keausan, seperti lapisan pelindung pada permukaan logam.

Film tipis amorfus Al_2O_3 diendapkan dengan menggunakan laser eksimer UV dalam proses deposisi pulsed laser deposition (PLD). Karena alumina memiliki potensi tinggi dalam bidang optik sebagai bahan dielektrik, penekanan besar diberikan pada optimalisasi proses deposisi material ini. Seperti yang diamati dalam penelitian ini, meskipun permukaannya halus, terdapat kandungan ruang hampa yang tidak bisa diabaikan ketika film dengan ketebalan kurang dari 40 nm diendapkan. Keberadaan ruang hampa ini mengakibatkan penurunan indeks bias efektif dari film.



Gambar 3. Pemindaian melalui SEM dari potongan melintang kristal fotonik berbasis film oksida aluminium anodik [9].

Alumina memiliki potensi yang signifikan dalam aplikasi LIDAR optik, terutama karena beberapa sifat kunci yang dimilikinya. Pertama, alumina memiliki tingkat kekerasan yang tinggi, yang membuatnya sangat tahan terhadap goresan dan abrasi. Ini adalah atribut penting dalam perangkat optik yang akan digunakan dalam lingkungan yang keras dan rentan terhadap kerusakan mekanis.

Selain itu, sifat porositas alumina dapat dimanfaatkan dalam desain perangkat LIDAR. Dengan mengatur porositas film alumina, mungkin untuk mengatur refraksi cahaya dan memodifikasi sifat optiknya sesuai dengan kebutuhan aplikasi LIDAR tertentu. Kustomisasi ini memungkinkan penggunaan alumina dalam pembuatan komponen optik yang sangat sesuai dengan persyaratan perangkat LIDAR tertentu.

Terakhir, kemampuan alumina untuk menyerap cahaya dalam berbagai panjang gelombang, terutama di wilayah ultraviolet dan tampak, merupakan atribut penting dalam LIDAR optik. Kemampuan ini memungkinkan alumina digunakan dalam deteksi dan pemrosesan cahaya yang dikirimkan dan dipantulkan oleh objek dalam perangkat LIDAR, yang menjadi kunci dalam pemetaan jarak dan pemantauan lingkungan. Dengan kombinasi kekerasan, porositas yang dapat disesuaikan, dan kemampuan penyerapan warna, alumina menjadi bahan yang menjanjikan untuk aplikasi optik LIDAR yang presisi dan andal.

Mengintegrasikan alumina (Al_2O_3) ke dalam kaca optik menimbulkan tantangan tertentu. Alumina memiliki indeks bias yang berbeda dibandingkan dengan kaca optik, yang berpotensi menyebabkan efek pemantulan dan pembiasan yang tidak diinginkan pada antarmuka antara alumina dan kaca. Ketidakesesuaian ini dapat mengganggu transmisi cahaya yang diinginkan dan kinerja optik secara keseluruhan. Selain itu, penambahan alumina ke dalam kaca optik memerlukan pemrosesan khusus, seringkali melibatkan perlakuan suhu tinggi, untuk memastikan dispersi yang tepat dan homogenitas. Proses khusus ini dapat meningkatkan biaya produksi dan kompleksitas dalam proses manufaktur. Oleh karena itu, meskipun alumina dapat bermanfaat untuk meningkatkan beberapa sifat optik, pengenalan alumina ke dalam kaca optik memerlukan pertimbangan yang cermat, termasuk kontrol yang teliti terhadap proses doping, untuk mencapai kinerja optik yang diinginkan tanpa mengorbankan kualitas produk akhir.

KESIMPULAN

Serat alumina adalah bahan yang menjanjikan untuk meningkatkan karakteristik kaca optik yang digunakan dalam aplikasi LiDAR. Dalam jurnal ini telah dipaparkan potensi serat alumina sebagai dopping material kaca optik dalam LiDAR. Penambahan serat alumina ke dalam matriks kaca optik dapat secara signifikan meningkatkan kekuatan material. Ini memberikan kaca optik kemampuan untuk menahan tekanan mekanik yang mungkin terjadi selama operasi LiDAR. Serat alumina berperan sebagai penguat struktural yang membuat kaca optik lebih tahan terhadap stres fisik eksternal. Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa serat alumina membantu mengurangi porositas kaca optik. Porositas rendah penting dalam menjaga transmisi cahaya yang optimal, yang esensial untuk akurasi pengukuran jarak dan kualitas data LiDAR. Dengan penurunan porositas, kaca optik menjadi lebih efisien dalam mentransmisikan sinyal LiDAR. Selain itu, film alumina yang digunakan dalam proses manufaktur membantu dalam mengintegrasikan serat alumina dengan matriks kaca optik. Film alumina bertindak sebagai jembatan antara serat dan matriks, memberikan kontinuitas struktural dan merangsang reaksi yang kuat antara keduanya. Secara keseluruhan, penelitian ini menyoroti potensi besar serat alumina dalam meningkatkan kaca optik yang digunakan dalam sistem LiDAR. Penggunaan serat alumina dapat menghasilkan kaca optik yang lebih kuat, lebih tahan lama, dan memiliki porositas yang rendah, memungkinkan LiDAR untuk bekerja dengan performa yang lebih baik dalam berbagai aplikasi yang bergantung pada teknologi ini. Dengan demikian, serat alumina adalah inovasi yang menjanjikan dalam pengembangan kaca optik untuk masa depan sistem LiDAR yang lebih canggih dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukma, Hendri, Rini, P., Dwi, R., and Rizal I. Terhadap Kekerasan Material Komposit Matriks. 1–13, 2015.
- [2] Hsu, Ching-Pai. “A Review and Perspective on Optical Phased Array for Automotive LiDAR.” *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 27(1): 1–16, 2020.
- [3] Wang, Ji. Alumina as a Dopant in Optical Fiber by OVD. *Applied Physics A: Materials Science and Processing* 116(2): 505–18, 2014.
- [4] Suarsana, Ketut. Pemanfaatan Serat Silicon Carbon Dan Partikel Alumina Pada Matrik Aluminium Untuk Meningkatkan Sifat Mekanis Material Komposit. *Jurnal Energi dan Manufaktur* 9(2): 193–98, 2016. <http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem>
- [5] Yani, M., Suroso, B., & Rajali, R. Mechanical Properties Komposit Limbah Plastik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 2(1), 74–83, 2019. <https://doi.org/10.30596/rmme.v2i1.3071>
- [6] Cheng, Jiping, Dinesh A, Yunjin Z, and Rustum R. Microwave Sintering of Transparent Alumina. *Materials Letters*, 56(4): 587–92, 2002.
- [7] Azad, Abdul Majeed. Fabrication of Transparent Alumina (Al₂O₃) Nanofibers by Electrospinning.” *Materials Science and Engineering: A* 435–436: 468–73, 2006.
- [8] Dhonge, Baban P. Spray Pyrolytic Deposition of Transparent Aluminum Oxide (Al₂O₃) Films. *Applied Surface Science*, 258(3): 1091–96, 2011..
- [9] Ashurov, Matin, Vladimir G, Kirill N, and Sergey K. Anodic Alumina Photonic Crystals as Refractive Index Sensors for Controlling the Composition of Liquid Mixtures. *Photonic Sensors*, 10(2): 147–54, 2020.