

## EFEK LAPISAN GANDA ANTIREFLEKTIF UNTUK MENINGKATKAN TRANSMISI *PHOTOVOLTAICS* DARI SEL SURYA

Asnawi Asnawi, T. N. Faiza, C. Diningsih, Muhimmatul Khoiro, Rohim Amirullah Firdaus  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya

\*E-mail korespondensi: [asnawi@unesa.ac.id](mailto:asnawi@unesa.ac.id)

### ABSTRACT

*Photovoltaic is a solar cell technology in the field which is very susceptible to damage, both due to corrosion and shocks caused by wind. However, this can be done by using a coating system on the glass material of solar cell panels. Optimization and efficiency can be done by providing a glass and air gap index of about 1.5. This difference can result in about 92% of the transmission of light energy entering the solar cell panel. Technology to reduce reflections on solar panels by using a double coating system called anti-reflective material. The purpose of this study was to examine and find various research articles on  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$  and  $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$  materials as antireflection materials in solar cells made with sol-gel spin coating. This research method uses literature reviews from various journals and research articles related to the use of  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$ ,  $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$  materials. Furthermore, the article is analyzed and studied to find out whether the article is feasible or not to be used as the basis for fabricating solar cells. Furthermore, the article was analyzed and the value to determine whether the results showed a transmittance of 99.7% for  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$  (96.1%) and 98.9% for  $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$  materials. From the results of the study, it can be said that  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  material is a material with the best antireflection performance for solar panels, with these materials can be used as a reference for further research on solar panel technology.*

**Keywords:** Antireflection, Transmittance, Silicon Solar.

### ABSTRAK

*Photovoltaic merupakan teknologi sel surya dalam teapannya dilapangan sangat rentan terhadap kerusakan, baik akibat korosi dan guncangan yang terjadi akibat angin. Namun hal tersebut dapat dicegah dengan menggunakan sistem pelapisan pada material kaca panel sel surya. Optimalisasi dan efisiensi dapat dilakukan dengan memberikan gap indeks kaca dan udara sekitar 1,5. Perbedaan tersebut dapat menghasilkan sekitar 92% transmisi energi cahaya dapat masuk ke dalam panel sel surya. Teknologi untuk mengurangi refleksi pada panel surya dengan menggunakan sistem pelapisan ganda yang disebut sebagai material anti-reflektif. Tujuan penelitian ini mengkaji dan mengevaluasi berbagai artikel hasil penelitian material  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$  dan  $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$  sebagai pelapis antirefleksi pada sel surya yang dibuat dengan sol-gel spin coating. Metode penelitian ini menggunakan literatur review dari berbagai jurnal dan artikel penelitian terkait penggunaan bahan  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$ ,  $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$ . Selanjutnya artikel tersebut dianalisis dan dievaluasi untuk mengetahui apakah artikel tersebut layak atau tidak untuk dijadikan dasar fabrikasi sel surya. Selanjutnya artikel tersebut dianalisis dan dievaluasi untuk mengetahui apakah Hasil penelitian menunjukkan nilai transmitansi sebesar 99,7% untuk material  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$  (96,1%) dan 98,9% untuk material  $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$ . Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa material  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  merupakan material dengan kinerja antirefleksi terbaik untuk panel solar cell, dengan demikian material tersebut dapat digunakan sebagai acuan referensi untuk penelitian lebih lanjut pada bidang teknologi panel surya.*

**Kata kunci:** Antireflektif, Transmisi, Sel Surya.

Diterima 30-10-2021 | Disetujui 16-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

## PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi yang semakin mumpuni, serat optik tidak lepas menjadi perhatian oleh para ilmuwan. Meskipun sangat tipis, serat ini dapat mengantarkan sinyal yang jauh, *bandwidth* besar dan kecepatan tinggi (mencapai gigabit per detik), kebal terhadap gangguan elektromagnetik, dan lainnya [1]. Sehingga banyak digunakan pada pengaplikasian telekomunikasi, berkembang secara terus menerus pada bidang lain seperti medis untuk melakukan pemantauan pada tanda-tanda vital seseorang.

Semakin besar tingkat kebutuhan tenaga listrik dan kelangkaan bahan bakar fosil, maka diperlukan suatu energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan sebagai energi terbarukan adalah pemanfaatan energi matahari. Untuk memanfaatkan energi matahari dengan baik, diperlukan suatu alat yang mampu mengubah sumber energi matahari menjadi energi yang lain, seperti energi listrik. Untuk mengganti daya tersebut diperlukan perangkat yang dikenal sebagai *photovoltaic*. [1].

Sel surya merupakan energi terbarukan yang berkembang cukup pesat di dunia, termasuk Indonesia. Negara kita memiliki iklim yang berbeda dengan negara lain, dimana sinar matahari sepanjang tahun serta adanya sumber daya alam lain seperti pasir silika merupakan anugerah yang harus bisa kita optimalkan. Sel surya memiliki banyak manfaat dalam berbagai kehidupan, oleh karenanya sistem pemasangan sel surya di ruang terbuka juga perlu diperhatikan. Karena bukan tidak mungkin jika panel surya bisa rusak, akibat guncangan atau pengaruh dari korosi akibat perubahan alam. Oleh karena itu, penggunaan pelapis material pada sel surya sangat penting untuk mencegah sel surya rusak. Indeks bias yang dibutuhkan lapisan kaca sel surya terhadap indeks udara adalah 1,52. Perbedaan ini akan mengakibatkan rendahnya nilai efisiensi panel surya sebesar 8%, hal ini dikarenakan efisiensi panel

berbanding terbalik dengan intensitas radiasi matahari [2-5].

Untuk alasan ini, pelapisan material anti-refleksi menjadi perhatian utama untuk mengoptimalkan nilai transmisi pada sel surya. Beberapa metode yang digunakan untuk membuat lapisan anti-refleksi antara lain *chemical vapor deposition*, *aerosol pyrolysis sputtering*, *laser abrasion*, *dip coating* dan *sol gel spin coating* [6]. Metode *sol gel spin coating* merupakan metode yang saat ini banyak digunakan karena murah, homogen, dapat dilakukan pada suhu rendah, tidak menggunakan ruangan dengan tingkat vakum yang tinggi, dan ketebalan lapisan dapat dikontrol [7]. Pelapisan *sol gel spin coating* adalah metode untuk membuat lapisan bahan polimer fotoresist yang diendapkan pada permukaan silikon dan bahan datar lainnya. Setelah larutan diteteskan pada substrat, kecepatan putar diatur oleh gaya sentrifugal untuk menghasilkan lapisan tipis yang homogen [8].

Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) merupakan material yang paling banyak untuk sel surya, fotokatalis dan sensor. Keunggulan titanium dioksida adalah tidak beracun, banyak tersedia dan biaya proses pembuatannya cukup murah serta dapat mengendalikan korosi menggunakan metode pelapisan [9, 10], film pembersih [11], sel surya [12], masker [13], pelapis anti bakteri. [14], dan perangkat penyimpanan optoelektronik [15]. Titanium dioksida dapat membentuk lapisan anti-reflektif karena memberikan penyerapan rendah pada panjang gelombang pendek dan memiliki indeks bias tinggi [16]. Bahan silika merupakan salah satu bahan dasar terbaik dalam fabrikasi sel surya, bahan ini telah menarik perhatian para peneliti. Penelitian tentang silika sangat meningkat karena kemudahan proses pembuatan dan penggunaan silika yang luas di berbagai industri [17, 18]. Penggunaan bahan silika dengan bahan  $\text{TiO}_2$  dapat meningkatkan keasaman dan *hidrofilisitas* permukaan. Selain itu, silika bersifat hidrofobik dan inert transparan, memiliki stabilitas termal yang

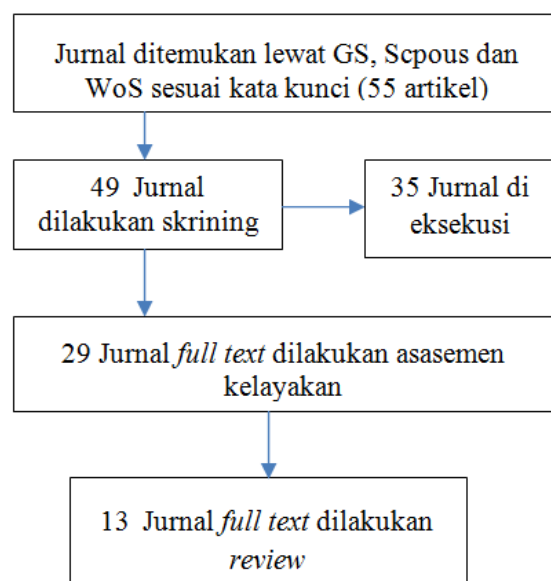
tinggi, luas permukaan spesifik yang besar, dan indeks bias yang rendah [19-21]. Semakin tinggi konsentrasi SiO<sub>2</sub>, semakin transparan fotokatalis yang dihasilkan. Sehingga perlu ditentukan komposisi TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> yang tepat untuk mendapatkan hasil yang optimal [22]. Lapisan anti-reflektif silika yang dikatalisis basa memiliki transmisi yang tinggi tetapi ketahanan abrasinya yang buruk, sedangkan lapisan anti-reflektif silika yang dikatalisis asam memiliki ketahanan abrasi yang tinggi tetapi transmitansi yang buruk. Pelapis antireflektif yang digunakan untuk melapisi sel surya harus memiliki transmitansi dan ketahanan abrasi yang tinggi.

Pada beberapa penelitian, nilai reflektansi lapisan Ar SiO<sub>2</sub>-SiNx dengan indeks bias 2,2 adalah 3,3% dan lapisan antireflektif SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> menghasilkan reflektansi 10,8% [23]. Demikian juga penelitian yang dilakukan oleh Sharma et al. menunjukkan bahwa pelapis antireflektif pada material TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> dapat menghasilkan efisiensi sebesar 14,55% [24]. Selain TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> juga dikombinasikan dengan magnesium fluorida (MgF<sub>2</sub>) yang memiliki pori-pori berstruktur linier dengan ikatan antar partikel yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan kekuatan lapisan film [25, 26]. Demikian juga seng oksida (ZnO) dan SiO<sub>2</sub> memiliki bandgap atau energy bandgap yang rendah sebesar 3,2 eV serta memiliki fotosintesis dan stabilitas yang sangat tinggi, sehingga cocok untuk pelapis antirefleksi [27]. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan material komposit SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>-ZnO, SiO<sub>2</sub>-MgF<sub>2</sub> yang dianalisis sifat antirefleksinya sebagai aplikasi pada sel surya.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan literatur *review* dari berbagai jurnal dan artikel penelitian terkait penggunaan bahan SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>-ZnO, SiO<sub>2</sub>-MgF<sub>2</sub>. Selanjutnya artikel tersebut dianalisis dan dievaluasi untuk mengetahui apakah artikel tersebut layak untuk *direview* atau tidak sebagai dasar untuk mengkaji konsep dan fabrikasi sel surya.

Pencarian artikel dilakukan dengan menggunakan kata kunci dari database jurnal yang terindeks melalui *Google Scholar*, *Scopus* dan *WoS* (55 artikel). Setelah mendapatkan jurnal *full text* yang dieksekusi dengan berbagai alasan (35 artikel), maka dilakukan pemilihan jurnal dengan kelengkapan yang baik dan sesuai dengan tujuan penelitian (29 artikel) dan terakhir dilakukan *review* artikel setelah dihilangkan dan sesuai dengan topik penelitian sebanyak 13 artikel. Hasil dari artikel *review* ini kemudian *direview* sesuai dengan tujuan penelitian yang meliputi menganalisis material komposit SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>-ZnO, SiO<sub>2</sub>-MgF<sub>2</sub> menggunakan metode sol gel spin coating untuk aplikasi fotovoltaik.



Gambar 1. Diagram alur review jurnal.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

*Review* artikel ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimal material komposit dari berbagai material dengan paduannya (SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>-ZnO, SiO<sub>2</sub>-MgF<sub>2</sub>) sebagai material pelapis sel surya. Metode pengumpulan literatur diperoleh dari database baik melalui Google Scholar atau Research Gate. Selanjutnya, literatur yang dikumpulkan dianalisis dan dievaluasi menggunakan Tabel Penilaian Kritis untuk mengatasi tujuan hasil pelapisan dan pengukuran bahan-bahan ini sebagai aplikasi sel surya.

**Tabel 1.** Terkait analisis penilaian kritis dari 13 jurnal.

Referensi Artikel	Material	Core Article	Methods	Result
[1]	SiO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub>	Menganalisis hasil pelapisan single/double layer dari material tersebut sebagai aplikasi sel surya.	PC1D & Matlab	Penggunaan sistem pelapisan lapisan ganda pada kaca sel surya dapat meningkatkan kinerja sebesar 14%
[3]	SiO <sub>2</sub>	Menganalisis hasil sistem pelapisan ganda bahan silikat untuk meningkatkan nilai transmitansi daya laser.	Sol gel	Lapisan ganda pada bahan silikat ini dapat meningkatkan kinerja data laser hingga 99%
[4]	SiO <sub>2</sub>	Menganalisis hasil pelapisan pada kaca yang dapat meningkatkan hasil nilai daya laser	Sol Gel	Lapisan ganda dengan bahan tersebut dapat meningkatkan nilai sifat anti-reflektif secara optimal pada kinerja laser
[5]	MSiO <sub>2</sub> /PDDA	Menganalisis hasil pelapisan tunggal pada substrat kaca sebagai bahan anti reflektif.	Spin Coating	Lapisan ganda (bilayer) ini menggunakan bahan ini memiliki nilai transmitansi 99% dengan aplikasi periskop.
[6]	SiO <sub>2</sub> -DMS	Menganalisis hasil pelapisan bahan silika dengan prekursor Hexamethyldisilazane sebagai bahan antirefleksi	Sol Gel	Lapisan ganda pada bahan silikat ini dapat meningkatkan kinerja data laser hingga 96%
[16]	TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub>	Menganalisis hasil pelapisan titadium dioksida pada substrat silikat sebagai bahan anti reflektif untuk sel surya.	Sol Gel Coating	Pelapisan sol gel pada material ini dapat meningkatkan nilai transmitansi sel surya sebesar 86%
[19]	SiO <sub>2</sub>	Menganalisis hasil pelapisan deposisi fasa cair pada pelapis kaca sel surya.	Liquid Phase Deposition	Pelapisan pada material ini dapat meningkatkan nilai efisiensi sebesar 19,5% untuk ukuran sel surya ukuran 156mmx156mm
[23]	SiO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub>	Menganalisis lapisan tunggal dan ganda pada silika sebagai bahan anti-reflektif dalam sel surya	Matrix Model Simulation	Pelapisan menggunakan pemodelan ini dapat meningkatkan nilai efisiensi kinerja sel surya secara optimal
[24]	SiO <sub>2</sub>	Menganalisis berbagai bahan silika jaminan single / double layer sebagai bahan anti-reflektif untuk mendukung sel surya	Spin Coating	Pelapisan dengan metode ini juga dapat meningkatkan nilai transmisi secara optimal pada sistem sel surya
[25]	SiO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub>	Menganalisis hasil pelapisan lapisan ganda bahan sebagai bahan anti reflektif pada sel surya	Sol Gel	Lapisan ganda pada material silikat ini dapat meningkatkan kinerja sel surya dengan transmitansi 99,7%
[27]	SiO <sub>2</sub> -ZnO	Menganalisis hasil pelapisan lapisan ganda bahan sebagai bahan anti reflektif pada sel surya	Dip Coating-Sol Gel	Pelapisan material ini mampu memperkecil nilai reflektansi sebesar 4-6% dan meningkatkan nilai transmitansi sebesar 96%.
[28]	SiO <sub>2</sub> / MgF <sub>2</sub>	Menganalisis hasil pelapisan lapisan ganda pada substrat kaca sebagai anti-reflektif untuk aplikasi medis dan militer.	Dip Coating	Pelapisan ini mampu meningkatkan nilai transmitansi yang baik untuk sel surya sebesar 89,0%
[29]	MgF <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub>	Menganalisis hasil pelapisan lapisan ganda pada substrat kaca sebagai anti-reflektif untuk aplikasi laser dan sel surya	Sol Gel Spin Coating	Meningkatkan nilai transmitansi sekitar 98,9% lebih baik daripada jika dilakukan dengan menggunakan sol gel saja

Terdapat 13 artikel yang membahas tentang proses pembuatan lapisan tipis paduan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  dan  $\text{MgF}_2$  sebagai bahan antirefleksi pada sel surya yang dibuat menggunakan metode sol gel, spin coating dan kombinasi. Jurnal tersebut merupakan jurnal internasional yang terindeks oleh Scopus yang proses pencariannya (jurnal) dilakukan melalui portal Scopus, WoS dan Google Scholar dengan mengetikkan beberapa kata kunci yang berkaitan dengan topik materi solar cell yang kemudian dianalisis menggunakan critical appraisal dan proses analisis jurnal inti yang diperoleh. serta hasil penelitian untuk mengetahui persamaan dan perbedaan jurnal. Berikut adalah Tabel 1 terkait analisis penilaian kritis dari 13 jurnal.

Tiga belas artikel literatur di atas menunjukkan hasil yang memvariasikan penggunaan material silika dengan komposisinya untuk dilapisi dengan baik pada lapisan kaca, baik lapisan tunggal maupun lapisan ganda untuk melihat hasil antirefleksi yang dilakukan dengan menggunakan metode yang banyak digunakan yaitu sol gel sebagai aplikasi mulai dari penguatan daya laser, medis, maritim dan panel sel surya. Pemilihan ketiga belas jurnal tersebut sesuai dengan tujuan peneliti yang ingin membahas hubungan antara material komposit yang digunakan dengan metode pelapisan untuk aplikasi panel sel surya.

**Tabel 2.** Penjelasan analisis penilaian kritis dari 7 jurnal.

Referensi Artikel	Material	Core Article	Result
[1], [16], [23], [25]	$\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	Menganalisis sistem pelapisan mulai dari simulasi Matlab PC1D dan matriks serta difabrikasi menggunakan metode sol gel sebagai bahan anti reflektif yang optimal untuk aplikasi sel surya.	Simulation results of the double layer coating system on the Hasil simulasi sistem pelapisan lapisan ganda pada substrat dapat meningkatkan kinerja dan efisiensi secara optimal. Demikian juga dengan fabrikasi komposit bahan-bahan tersebut juga dapat meningkatkan nilai transmitansi optimum dari 86% (single layer) menjadi 99,7% (double layer). Perbaikan ini sangat layak untuk diterapkan pada sistem dan panel sel surya.
[27]	$\text{SiO}_2\text{-ZnO}$	Menganalisis sistem double layer coating pada substrat kaca menggunakan metode dip coating sol gel sebagai antireflektif untuk aplikasi sel surya	Hasil fabrikasi pelapisan material ini mampu meminimalkan nilai refleksi, dengan menggunakan metode ini juga dapat meningkatkan nilai transmitansi (96%)
[28], [29]	$\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$	Menganalisis hasil double layer coating pada substrat kaca sebagai anti reflektif untuk aplikasi medis dan militer, medis dan sel surya.	Hasil fabrikasi menggunakan metode sol gel spin coating dapat meningkatkan nilai transmitansi lapisan kaca sel surya dari 89,0%-98,9%

**Tabel 3.** Perbandingan nilai transmitansi zat  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$ ,  $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$ .

Material	Transmittance (%)	Reference
$\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$	99,7	[25]
$\text{SiO}_2\text{-ZnO}$	96,1	[27]
$\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$	98,89	[29]

Berdasarkan analisis penilaian kritis, dari tiga belas artikel ada tujuh yang membahas aplikasi penggunaan material silika dengan komposisinya sebagai material antirefleksi yang efektif untuk aplikasi sel surya. Penjelasannya

diinterpretasikan pada Tabel 2. Pemasangan proses pelapisan pada material  $\text{SiO}_2$  dengan beberapa komposisinya harus menjadi perhatian utama. Sebagai lapisan anti reflektif yang dipasang di luar gedung, perlu juga diperhatikan material harus tahan terhadap paparan sinar matahari dan guncangan yang disebabkan oleh angin. Transmisi maksimum lapisan komposit  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$ ,  $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$  secara simulasi dan didukung dengan fabrikasi lapisan tipis sebagai antirefleksi tidak mengalami perubahan pada rasio weight ratio,

artinya kekuatan erosi lapisan karena pengaruh sinar matahari atau cuaca yang sangat bagus. Hal ini membuat transmisi lapisan kaca sebagai aplikasi sel surya mencapai nilai optimum sebesar 99,7%. Hal yang sama berlaku untuk pelapis ZnO dan Si dengan indeks bias yang berbeda dari kedua bahan ini, jika cahaya tampak nyata bagi Anda (lapisan tunggal ZnO) memiliki nilai transmitansi yang rendah, tetapi nilai transmitansi akan meningkat jika SiO<sub>2</sub> digabungkan dengan ZnO (96,1%). Dengan demikian lapisan ganda SiO<sub>2</sub>-MgF<sub>2</sub> juga dapat digunakan sebagai referensi sebagai pendukung energi surya fotovoltaik dengan tingkat transmitansi sebesar 98,89%. Maka dari ketujuh artikel tersebut dapat kita bandingkan nilai transmitansi dari hasil review mengenai nilai transmitansi material SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>-ZnO, SiO<sub>2</sub>-MgF<sub>2</sub>, seperti terlihat pada Tabel 3.

## KESIMPULAN

Hasil kajian dan temuan studi literatur bahan antireflektif lapisan rangkap SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>-ZnO, SiO<sub>2</sub>-MgF<sub>2</sub> pada sel fotovoltaik, sehingga transmitansinya cukup baik untuk dijadikan kandidat bahan antirefleksi karena memiliki transmitansi tinggi 98,8% di lapisan anti-reflektif SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>. Transmisi yang diperoleh pada sampel menjadi salah satu parameter bahwa material tersebut dapat digunakan sebagai kandidat terbaik material antireflektif lapisan ganda.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Fisika Fakultas Sains Universitas Negeri Surabaya atas dukungan fasilitas penelitian sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

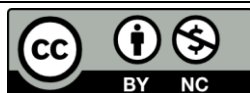
## REFERENSI

1. Sharma, R., Amit, G., & Ajit, V. (2017). Effect of single and double layer antireflection coating to enhance

- photovoltaic efficiency of silicon solar. *Journal of Nano and Electronic Physics*.
2. Zhou, G., He, J., Gao, L., Ren, T., & Li, T. (2013). Superhydrophobic self-cleaning antireflective coatings on Fresnel lenses by integrating hydrophilic solid and hydrophobic hollow silica nanoparticles. *RSC Advances*, **3**(44), 21789–21796.
  3. Zhang, X. X., Cai, S., You, D., Yan, L. H., Lv, H. B., Yuan, X. D., & Jiang, B. (2013). Template-free sol-gel preparation of superhydrophobic ORMOSIL films for double-wavelength broadband antireflective coatings. *Advanced Functional Materials*, **23**(35), 4361–4365.
  4. Prené, P., Priotton, J. J., Beaurain, L., & Belleville, P. (2000). Preparation of a sol-gel broadband antireflective and scratch-resistant coating for amplifier blastshields of the french laser LIL. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, **19**(1), 533–537.
  5. Zhang, L., Qiao, Z. A., Zheng, M., Huo, Q., & Sun, J. (2010). Rapid and substrate-independent layer-by-layer fabrication of antireflection-and antifogging-integrated coatings. *Journal of Materials Chemistry*, **20**(29), 6125–6130.
  6. Liang, Z., Li, W., Dong, B., Sun, Y., Tang, H., Zhao, L., & Wang, S. (2019). Double-function SiO<sub>2</sub>-DMS coating with antireflection and superhydrophobic surface. *Chemical Physics Letters*, **716**, 211–214.
  7. Slamet, W. (2010). Teknologi Sol Gel Pada Pembuatan Nano Kristalin Metal Oksida Untuk Aplikasi Sensor Gas. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses*.
  8. Fitriani, F., & Handani, S. (2017). Pengaruh Temperatur dan Waktu Putar Terhadap Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO yang Dibuat dengan Metode Sol-Gel Spin Coating. *Jurnal Fisika Unand*, **6**(2), 156–161.
  9. Linsebigler, A. L., Lu, G., & Yates Jr, J. T. (1995). Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> surfaces: principles, mechanisms, and selected results. *Chemical reviews*, **95**(3), 735–758.

10. Fujishima, A., Zhang, X., & Tryk, D. A. (2008). TiO<sub>2</sub> photocatalysis and related surface phenomena. *Surface science reports*, **63**(12), 515–582.
11. Pakdel, E., & Daoud, W. A. (2013). Self-cleaning cotton functionalized with TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>: focus on the role of silica. *Journal of colloid and interface science*, **401**, 1–7.
12. Son, S., Hwang, S. H., Kim, C., Yun, J. Y., & Jang, J. (2013). Designed synthesis of SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> core/shell structure as light scattering material for highly efficient dye-sensitized solar cells. *ACS applied materials & interfaces*, **5**(11), 4815–4820.
13. Li, Y., Leung, P., Yao, L., Song, Q. W., & Newton, E. (2006). Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles. *Journal of Hospital Infection*, **62**(1), 58–63.
14. Evans, P., & Sheel, D. W. (2007). Photoactive and antibacterial TiO<sub>2</sub> thin films on stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, **201**(22-23), 9319–9324.
15. Saravanan, K., Ananthanarayanan, K., & Balaya, P. (2010). Mesoporous TiO<sub>2</sub> with high packing density for superior lithium storage. *Energy & Environmental Science*, **3**(7), 939–948.
16. Sali, S., Kermadi, S., Zougar, L., Benzaoui, B., Saoula, N., Mahdid, K., ... & Boumaour, M. (2017). Nanocrystalline properties of TiO<sub>2</sub> thin film deposited by ultrasonic spray pulverization as an anti-reflection coating for solar cells applications. *Journal of Electrical Engineering*, **68**(7), 24.
17. Li, W., & Zhao, D. (2013). Extension of the Stöber method to construct mesoporous SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> shells for uniform multifunctional core–shell structures. *Adv. Mater.* **25**, 142–149.
18. Jankiewicz, B. J., Jamiola, D., Choma, J., & Jaroniec, M. (2012). Silica–metal core–shell nanostructures. *Advances in colloid and interface science*, **170**(1-2), 28–47.
19. Chen, Y., Zhong, S., Tan, M., & Shen, W. (2017). SiO<sub>2</sub> passivation layer grown by liquid phase deposition for silicon solar cell application. *Frontiers in Energy*, **11**(1), 52–59.
20. Huang, H., Modanese, C., Sun, S., von Gastrow, G., Wang, J., Pasanen, T. P., ... & Savin, H. (2018). Effective passivation of p<sup>+</sup> and n<sup>+</sup> emitters using SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiN<sub>x</sub> stacks: Surface passivation mechanisms and application to industrial p-PERT bifacial Si solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **186**, 356–364.
21. Preissler, N., Amkreutz, D., Dulanto, J., Töfflinger, J. A., Trinh, C. T., Trahms, M., ... & Schlatmann, R. (2018). Passivation of Liquid-Phase Crystallized Silicon With PECVD-SiN<sub>x</sub> and PECVD-SiN<sub>x</sub>/SiO<sub>x</sub>. *physica status solidi (a)*, **215**(14), 1800239.
22. Huang, C. H., Bai, H., Liu, S. L., Huang, Y. L., & Tseng, Y. H. (2011). Synthesis of neutral SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> hydrosol and its photocatalytic degradation of nitric oxide gas. *Micro & Nano Letters*, **6**(8), 646–649.
23. Diop, M. M., Diaw, A., Mbengue, N., Ba, O., Diagne, M., Niasse, O. A., ... & Sarr, J. (2018). Optimization and modeling of antireflective layers for silicon solar cells: In search of optimal materials. *Materials Sciences and Applications*, **9**(08), 705.
24. Zahid, M. A., Khokhar, M. Q., Cho, E. C., Cho, Y. H., & Yi, J. (2020). Impact of Anti-Reflective Coating on Silicon Solar Cell and Glass Substrate: A Brief Review. *Current Photovoltaic Research*, **8**(1), 1–5.
25. Lin, W., Zheng, J., Yan, L., & Zhang, X. (2018). Sol-gel preparation of self-cleaning SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> double-layer antireflective coating for solar glass. *Results in physics*, **8**, 532–536.
26. E. Hecht, (2001). Optics, 4<sup>th</sup> edition, Addison- Wesley Publishing Company, New York.

27. Li, D., Huang, F., & Ding, S. (2011). Sol-gel preparation and characterization of nanoporous ZnO/SiO<sub>2</sub> coatings with broadband antireflection properties. *Applied surface science*, **257**(23), 9752–9756.
28. Sun, X., Tu, J., Li, L., Zhang, W., & Hu, K. (2020). Preparation of wide-angle and abrasion-resistant multi-layer antireflective coatings by MgF<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> mixed sol. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **602**, 125106.
29. Sun, X., Xu, X., Song, G., Tu, J., Li, L., Yan, P., ... & Hu, K. (2020). Preparation of MgF<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> coating with broadband antireflective coating by using sol-gel combined with electron beam evaporation. *Optical Materials*, **101**, 109739.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)