

PENGEMBANGAN LAPISAN TIPIS TEMBAGA OKSIDA SEBAGAI *BEAM DIVIDER* PADA PERANGKAT PRAKTIKUM FISIKA (OPTIKA) DI MADRASAH/SEKOLAH

Bebeh Wahid Nuryadin

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

JL. A.H. Nasution 105, Bandung – Indonesia 40614

Email: bebehwahid102@uinsgd.ac.id

Abstrak

Beam divider (alat optik) adalah salah satu perangkat yang umum digunakan dalam percobaan optika, misalkan interferometer Michelson-Morley. *Beam divider* berfungsi dalam membagi satu sinar laser menjadi dua sinar koheren, masing-masing sebesar 50% untuk refleksi dan transmisinya. Secara umum *beam divider* terbuat dari lapisan tipis logam pada permukaan kaca sehingga memiliki nilai reflektansi dan transmitansi yang baik dan dapat diatur. Penelitian ini ditujukan untuk mensintesis dan mengembangkan *beam divider* berbasis lapisan tipis tembaga oksida. Lapisan tipis tembaga disintesis menggunakan metoda *spray pyrolysis* pada beberapa variasi parameter seperti suhu, jarak spray terhadap substrat, konsentrasi larutan tembaga dan waktu sintesis. Parameter tersebut berpengaruh terhadap ketebalan lapisan dan nilai rasio transmisi dan refleksinya. Keberhasilan pembuatan lapisan tipis oksida tembaga ditandai dengan terbentuknya lapisan tipis berwarna kecoklatan yang tembus cahaya pada substrat kaca. Lapisan tipis tembaga oksida akan digunakan sebagai *beam divider* pada percobaan fisika (optika) di madrasah/sekolah, seperti percobaan interferometer Michelson-Morley.

Kata kunci: *Beam divider*, lapisan tipis tembaga oksida, alat percobaan fisika (optika).

1. Pendahuluan

Beam divider merupakan komponen optik yang digunakan untuk membagi sinar menjadi dua sinar koheren terdiri sinar refleksi dan transmisi (Macleod 2010). *Beam divider* sering juga disebut

sebagai setengah cermin karena ada intensitas cahaya yang ditransmisikan dan direfleksikan. Komponen optik ini pada prinsipnya merupakan lapisan tipis suatu material pada gelas datar. Lapisan ini memiliki reflektansi dan transmitansi pada

daerah panjang gelombang tertentu (Herlambang 2012). *Beam divider* biasanya ditentukan dari nilai ideal transmisi dan reflektansi yang dinyatakan sebagai persentase dan ditulis T/R (Macleod 2010). *Beam divider* dengan nilai 50/50 biasanya yang banyak digunakan untuk peralatan yang menggunakan sistem optik seperti instrumentasi analisis (*interferometer, spectrophotometer, photometer analyzer, dsb*), instrumentasi medis (*Ophthalmic, Glucose Monitors & Sensors, dsb*), *filter Infrared* dan peralatan lain yang menggunakan prinsip optik (Ewing 1985); (Hariharan 2003); (Takenaka, Ichimaru dan Gullikson 2005); (Wang, Shi dan Ruan 2007)). Rasio refleksi per transmisi tersebut menyatakan sebanyak 50% intensitas cahaya yang datang akan ditransmisikan sedangkan sisanya akan direfleksikan pada sudut sinar datang tertentu khususnya sudut 45° (Herlambang 2012).

Pendeposisian suatu lapisan logam pada suatu plat gelas merupakan tipe paling sederhana dari *beam divider* (Huntz, 2008). Material logam yang digunakan sebagai bahan pelapis bermacam-macam seperti aluminium (Al), perak (Ag), nikel (Ni), emas (Au), tembaga (Cu) dan krom (Cr). Diantara material-material tersebut yang paling banyak digunakan adalah tembaga (Cu), material ini memiliki sifat refleksi pada daerah cahaya merah (panjang gelombang lebih besar). Ditinjau dari sisi ekonomi, material ini relatif murah dan banyak terdapat dipasaran sehingga mudah diperoleh (Herlambang 2012). Terdapat beberapa metoda yang umum digunakan dalam pembuatan lapisan tipis diantaranya *sol-gel technique* (Tola 2013), *DC magnetron sputtering* (Yunitama 2014), *pulsed laser deposition (PLD)* (Adnyana 2007), *chemical vapor deposition (CVD)* (Greve 1994), *metal organic chemical vapor deposition (MOCVD)* (Saragih 2010), dan *spray pyrolysis* (Nuryadin 2008). Metode lain

seperti *chemical vapor deposition* membutuhkan biaya fabrikasi dan investasi peralatan yang mahal, proses fabrikasi yang rumit karena membutuhkan temperatur dan tekanan yang tinggi untuk memperoleh kondisi vakum dan memerlukan waktu proses produksi yang lama karena banyaknya langkah kerja yang harus dilakukan. Metode *sol-gel* membutuhkan proses pengubahan sol menjadi gel dan proses *annealing* membutuhkan waktu yang lama. Metode *DC magnetron sputtering* membutuhkan biaya untuk inventarisasi dan bahan kimia yang digunakan sangat mahal dan peralatan teknologi vakum mahal karena reaktor-nya harus kuat untuk menahan tekanan yang rendah. Metoda *spray pyrolysis* merupakan metoda yang paling banyak digunakan dalam pembuatan lapisan tipis karena kemudahan prosedur peralatan relatif sederhana, biaya sintesis dan bahan dasarnya lebih murah dibandingkan dengan metoda yang lain (Syuhada 2008). Oleh karena itu,

penelitian ini bertujuan untuk membuat lapisan oksida tembaga menggunakan metode *spray pyrolysis* dan aplikasinya sebagai *beam divider* pada percobaan fisika (optika) di madrasah/sekolah, seperti percobaan interferometer Michelson-Morley.

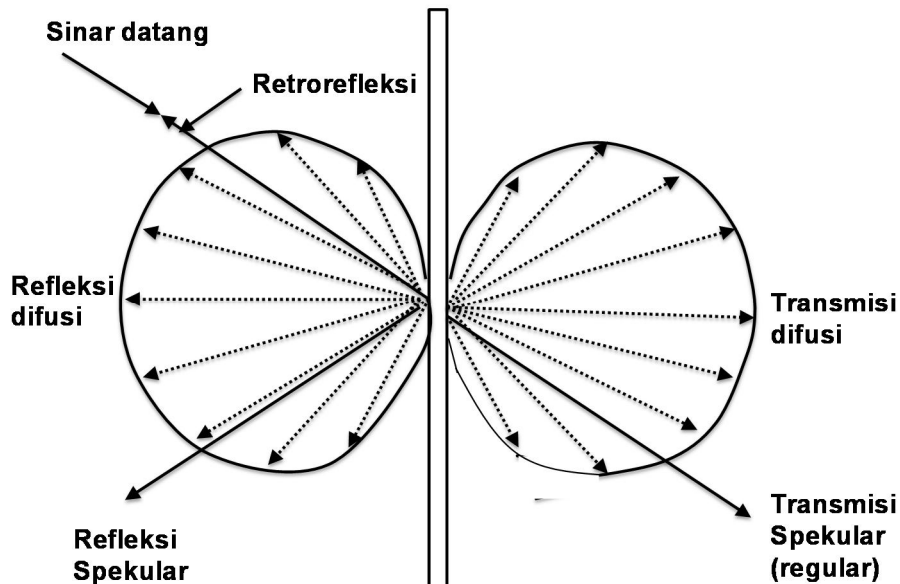
2. Studi Literatur

Beam divider adalah salah satu alat yang digunakan dalam percobaan Michelson-Morley, dimana *beam divider* berfungsi untuk memecahkan sinar laser menjadi dua sinar koheren, yaitu 50% refleksi dan 50% transmisi (Herlambang 2012). Jika *beam divider* tidak memiliki fungsi memecah sinar laser menjadi sinar refleksi dan transmisi, maka tidak ada pertemuan dua sinar sehingga tidak terbentuk pola interferensi. Bila cahaya mengenai suatu permukaan transparan, maka sebagian cahaya dipantulkan (R) dari permukaan atas dan sebagian cahaya ditransmisikan (T) menembus permukaan dasar ((Macleod 2010); (Holland 1970)). Bagian sisanya hilang melalui proses

absorpsi (A) oleh elektron material. Hal-hal tersebut diatas dapat mengalami sifat optik lapisan tipis logam *beam divider*. Tiga fenomena fisis optik yang terjadi yaitu refleksi, transmisi, dan absorpsi dapat dilihat pada skema yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.

Transmitansi, absorpsi, dan reflektansi merupakan sifat optik dari

suatu material yang ada kaitannya dengan interaksi antara material dengan gelombang elektromagnetik seperti cahaya, khususnya cahaya tampak. Spektrum transmisi menunjukkan fungsi transmisi terhadap panjang gelombang. Spektrum absorpsi menunjukkan fungsi koefisien absorpsi terhadap energi foton cahaya.



Gambar 4. Model fisis peristiwa transmisi, reflektansi, dan absorpsi pada *beam divider*.

2.1. Transmittansi

Didefinisikan sebagai rasio antara intensitas cahaya yang ditransmisikan dengan intensitas cahaya yang menuju sampel (Hummel 2001).

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

Hubungan transmittansi dengan ketebalan dapat diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$T = e^{-\alpha d} \quad (2)$$

sehingga nilai ketebalan yang semakin besar menyebabkan nilai transmitansi semakin kecil.

$$-\alpha d = \ln T \quad (3)$$

$$\alpha = -\frac{\ln T}{d} \quad (4)$$

dengan α merupakan koefisien absorpsi optik. Berdasarkan data energi cahaya dan besarnya koefisien absorpsi optik, dapat dibuat grafik hubungan antara energi cahaya terhadap kuadrat dari koefisien absorpsi (α^2), yang selanjutnya disebut sebagai grafik absorpsi, dengan kurva grafik absorpsi ini dapat ditentukan nilai band gap (Mitayani, M. 2013).

2.2. Reflektansi

Didefinisikan sebagai rasio antara intensitas cahaya yang dipantulkan, I_R , dengan intensitas cahaya awal, I_0 (Hecht 2002).

$$R = \frac{I_R}{I_0} \quad (5)$$

dengan: I_R = intensitas cahaya yang dipantulkan.

Reflektansi berhubungan dengan transmitansi dan koefisien absorpsi dengan hubungan sebagai berikut (Petkov, et al. 2003) :

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \frac{(1-R)^2}{T} \quad (6)$$

atau bisa dituliskan kembali sebagai berikut:

$$R = \sqrt{T} \exp\left(\frac{\alpha d}{2}\right) \quad (7)$$

2.3. Absorbansi

Absorbansi didefinisikan sebagai (Nadeem dan Ahmed 2000):

$$A = \log \frac{I_0}{I}$$

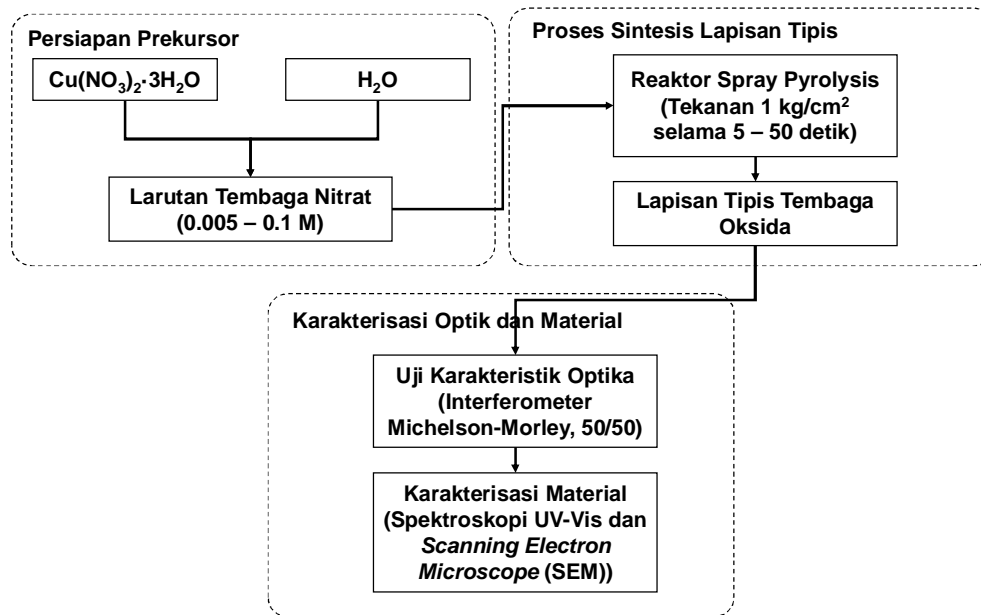
Pada lapisan tipis berlaku:

$$\frac{I_0}{I} = e^{\alpha d}$$

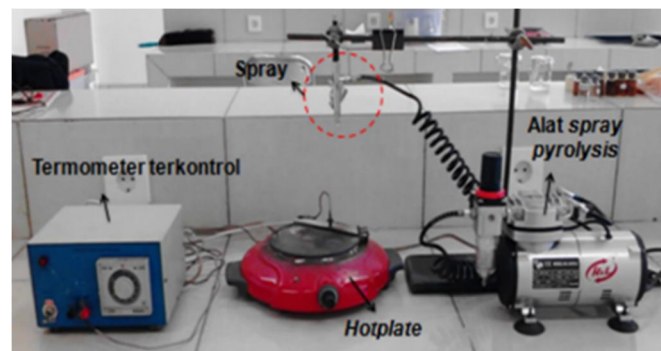
maka:

$$\alpha = 2,303 \frac{A}{d}$$

dengan α dan d adalah koefisien absorpsi dan ketebalan lapisannya.



Gambar 1. Skema pembuatan *beam divider* berbasis lapisan tipis tembaga oksida menggunakan metoda *spray pyrolysis*.



Gambar 2. Reaktor *spray pyrolysis* terdiri dari sprayer/atomizer, pemanas (*hot plate*) dan pengatur suhu.

Tabel 1. Paramater deposisi lapisan tipis oksida tembaga

Parameter Deposisi	Besaran Satuan
Tekanan deposisi	1 kg/cm ³

Waktu deposisi	(5-50) Detik
Konsentrasi	0.005 M-0.1 M
Jarak spray ke substrat	24 cm
Temperatur deposisi	300°C

3. Metode Eksperimen

3.1. Sintesis Lapisan Tipis Tembaga Oksida (*Beam Divider*)

Beam divider berbasis lapisan tipis tembaga oksida disintesis menggunakan metode *spray pyrolysis*. Secara umum sintesis lapisan tipis tembaga oksida terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu persiapan larutan, proses sintesis dan karakterisasi optik dan morfologi permukaannya (**Gambar 1.**). Larutan tembaga nitrat dengan konsentrasi sebesar 0.005 – 0.1 M disiapkan dengan melarutkan tembaga nitrat hidrat ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, MR =) pada pelarut air murni. Reaktor *spray pyrolysis* terdiri dari tiga bagian penting yaitu: sprayer/atomizer untuk menghasilkan droplet larutan, pemanas (*hot plate*) dan pengatur suhu pemanas

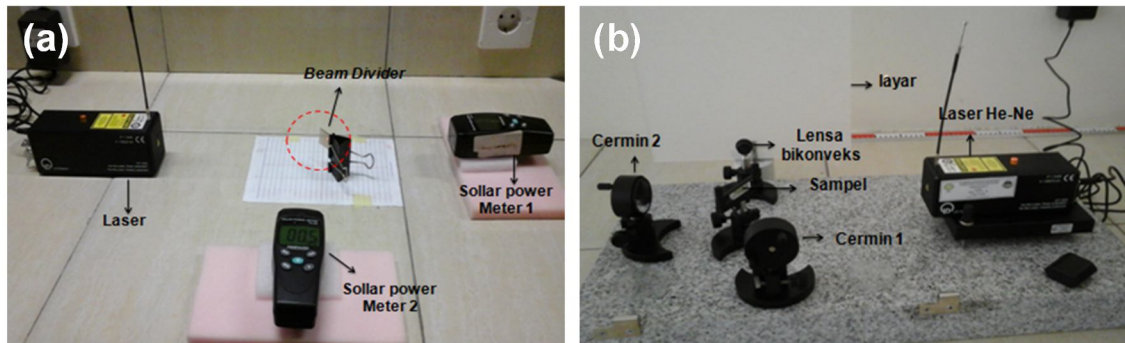
(**Gambar 2.**). Larutan tembaga nitrat disemprotkan pada substrat kaca menggunakan sprayer/ atomizer jenis *Air Brush* komersial dengan ukuran droplet sebesar 0,3 mm pada tekanan 1 kg/cm³ selama 5 – 50 detik. Substrat kaca dipanaskan di atas permukaan pemanas pada suhu konstan sekitar 300 °C.

3.2. Karakterisasi Lapisan Tipis Tembaga Oksida (*Beam Divider*)

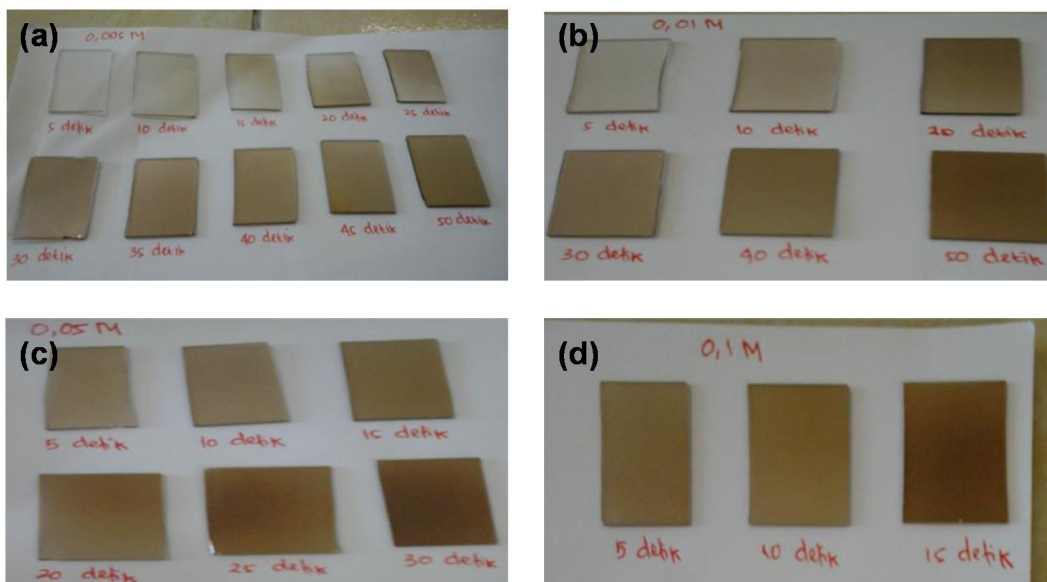
Karakteristik optik dan morfologi lapisan tipis tembaga oksida dikarakterisasi menggunakan pengukuran rasio refleksi dan transmisi, spektrometer UV-Visible, interferometer Michelson-Morley, dan scanning electron microscope (SEM). Tujuan dari pengukuran ini adalah mengetahui hubungan/pengaruh dari parameter sintesis, seperti konsentrasi

larutan dan waktu deposisi, terhadap nilai rasio refleksi dan transmisinya, spektrum absorpsi dan transmitansinya, dan morfologi permukaannya. Sedangkan, praktikum interferometer Michelson-

Morley dicoba sebagai pembandingan/validasi pola interferensi antara *beam divider* referensi (LD-Didactic, Jerman) dan *beam divider* yang telah dibuat.



Gambar 3. Skema pengukuran (a) rasio transmisi dan refleksi sinar laser (630 nm), dan (b) perangkat percobaan interferometer Michelson – Morley.



Gambar 5. Sampel *beam divider* (lapisan tipis oksida tembaga) yang disintesis pada suhu 300 °C dan konsentrasi tembaga sebesar (a) 0,005 M, (b) 0,01 M, (c) 0,05 M dan (d) 0,1 M.

4. Analisis dan Interpretasi Data

4.1. Karakteristik Optik Lapisan Tipis Tembaga Oksida

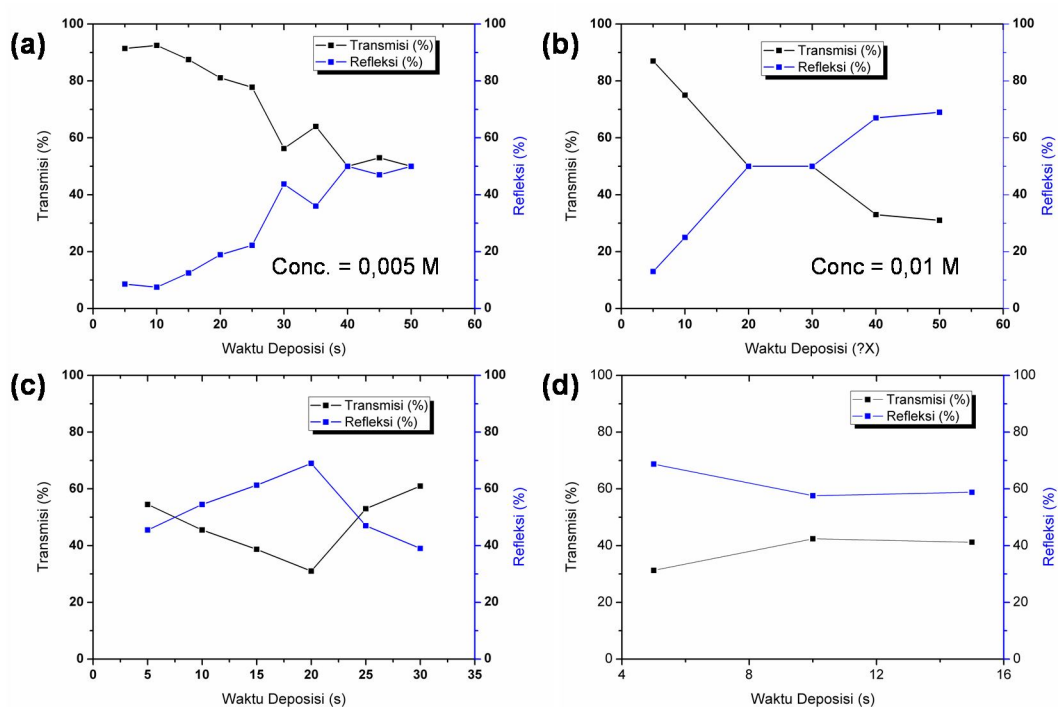
Lapisan tipis oksida tembaga telah berhasil disintesis menggunakan metoda *spray pyrolysis* pada suhu ~ 300 °C. Terbentuknya lapisan tipis tembaga oksida ditandai dengan perubahan warna substrat kaca menjadi coklat-kemerahan seperti pada **Gambar 5**. Perubahan warna substrat tersebut menunjukkan terjadinya pendeposisian tembaga oksida pada permukaan kaca. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa konsentrasi dan waktu pendeposisian tembaga oksida berpengaruh terhadap perubahan warna substrat, sebanding dengan kuantitas oksida tembaga yang terdepresiasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketebalan lapisan tipis oksida tembaga kemungkinan dipengaruhi oleh konsentrasi dan lama waktu pendeposisian. Permukaan logam padatan adalah pemantul (reflektor) gelombang elektromagnetik yang sangat baik. Oleh karena itu, lapisan tipis oksida tembaga pada permukaan substrat kaca diharapkan mampu menghasilkan karakteristik optik gabungan, lapisan

tembaga oksida dan substrat kaca transparan, yang unik dan menarik.

Karakteristik optik lapisan tipis tembaga oksida diukur menggunakan metoda pemantulan (refleksi) dan transmisi sinar laser (630 nm) pada sudut sinar datang sebesar 45° . Hasil pengukuran nilai rasio refleksi per transmisi (R/T) pada beberapa variasi konsentrasi dan waktu deposisi ditunjukkan oleh **Gambar 6**. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rasio refleksi dan transmisi sinar laser bervariasi seiring dengan konsentrasi dan waktu deposisi. Pada sampel yang disintesis pada konsentrasi larutan tembaga sebesar 0,005 M dan 0,01 M, yang memiliki nilai rasio refleksi dan transmisi sinar laser sebesar 50%, dihasilkan pada waktu sintesis masing-masing sebesar 40s dan 20s. Sedangkan pada sampel yang disintesis pada konsentrasi larutan tembaga sebesar 0,05 M dan 0,1 M, tidak dihasilkan lapisan tipis dengan rasio refleksi dan transmisi pada kisaran 50%. Karakteristik rasio refleksi dan transmisi sinar laser

tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh ketebalan lapisan tembaga oksida yang terbentuk. Pada lapisan tembaga oksida yang disintesis pada konsentrasi rendah atau waktu sintesis pendek akan dihasilkan lapisan tembaga oksida yang sangat tipis. Lapisan tembaga oksida yang sangat tipis tersebut menyebabkan pemantulan gelombang elektromagnetik (laser) rendah, dengan kata lain nilai transmisinya akan lebih tinggi (**Gambar 6a** dan **65b**). Sedangkan pada konsentrasi tinggi atau

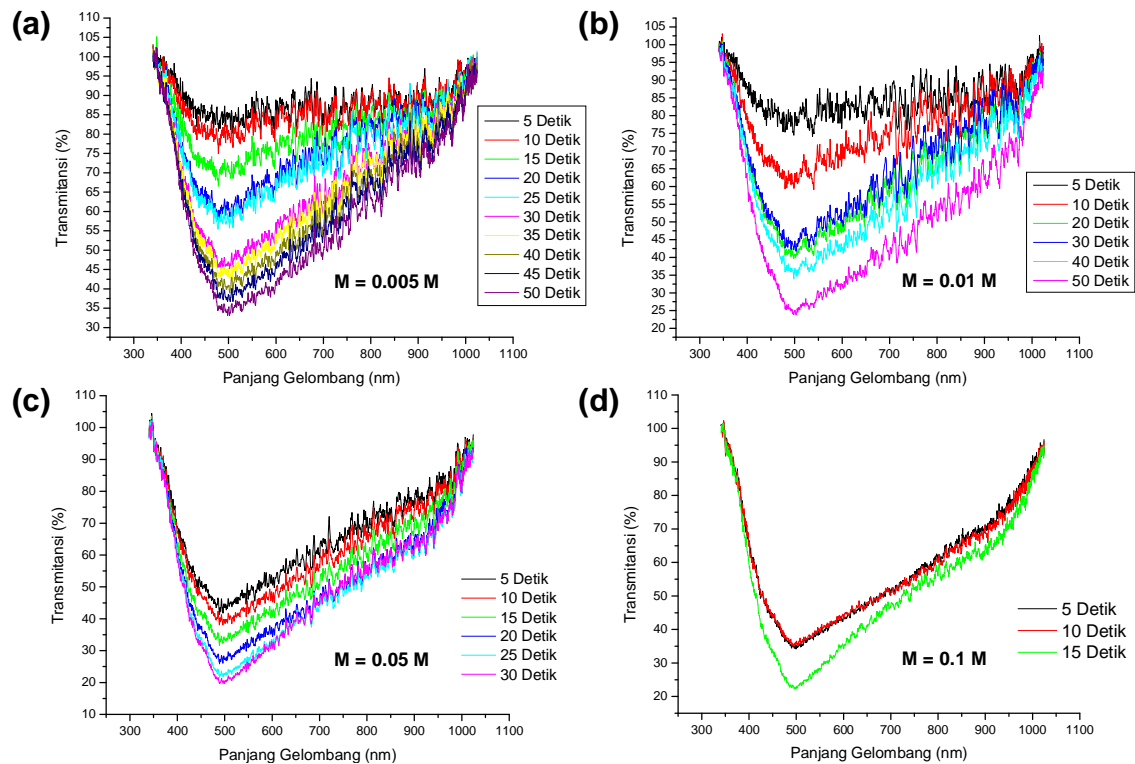
waktu deposisi lebih lama, menyebabkan terbentuknya lapisan oksida tembaga yang sangat tebal. Lapisan tembaga oksida yang sangat tebal menyebabkan terjadinya pemantulan yang lebih tinggi (**Gambar 6c** dan **6d**). Dengan demikian lapisan tipis tembaga oksida memiliki karakteristik optik yang unik, menarik dan sangat potensial untuk dikembangkan, salah satunya sebagai *beam divider* ($R/T \sim 50\%/50\%$).



Gambar 6. Nilai rasio refleksi dan transmisi sinar laser (630 nm) oleh lapisan tipis tembaga oksida (*beam divider*) pada beberapa variasi konsentrasi larutan dan waktu deposisi.

Pengukuran spektrometer UV-Vis ditujukan untuk mendapatkan spektrum transmitansi lapisan tipis logam oksida pada rentang panjang gelombang berkisar 340 nm - 1024 nm. **Gambar 7.** menunjukkan spektrum transmitansi lapisan tipis tembaga oksida (*beam divider*) pada variasi waktu deposisi dan konsentrasi larutan. Hasil pengukuran seluruh sampel menunjukan terjadinya penurunan intensitas transmitansi yang tajam pada daerah 340 nm – 500 nm. Sedangkan pada daerah 500 nm hingga 1000 nm, intensitas transmitansi mengalami peningkatan yang landai. **Gambar 7a** dan **7d** berhasil menunjukan bahwa peningkatan konsentrasi

menyebabkan terjadinya penurunan intensitas transmitansi pada daerah cahaya tampak (400 – 700 nm). Selain itu, intensitas transmitansi pada daerah cahaya tampak mengalami penurunan seiring dengan peningkatan waktu deposisi lapisan tipis tembaga oksida. Intensitas transmisi pada daerah spektrum merah (630 nm) sebesar 50% berhasil diamati pada konsentrasi 0,005 M dan 0,01 M pada waktu sintesis masing-masing sebesar 40s dan 20s. Pengamatan ini konsisten dengan pengukuran rasio refleksi dan transmisi sinar laser merah (630 nm) pada sudut sinar datang sebesar 45°.



Gambar 7. Spektrum transmitansi lapisan tipis tembaga oksida (*beam divider*) pada variasi waktu deposisi dan konsentrasi larutan (a) 0,005 M, (b) 0,01 M, (c) 0,05 M dan (d) 0,1 M.

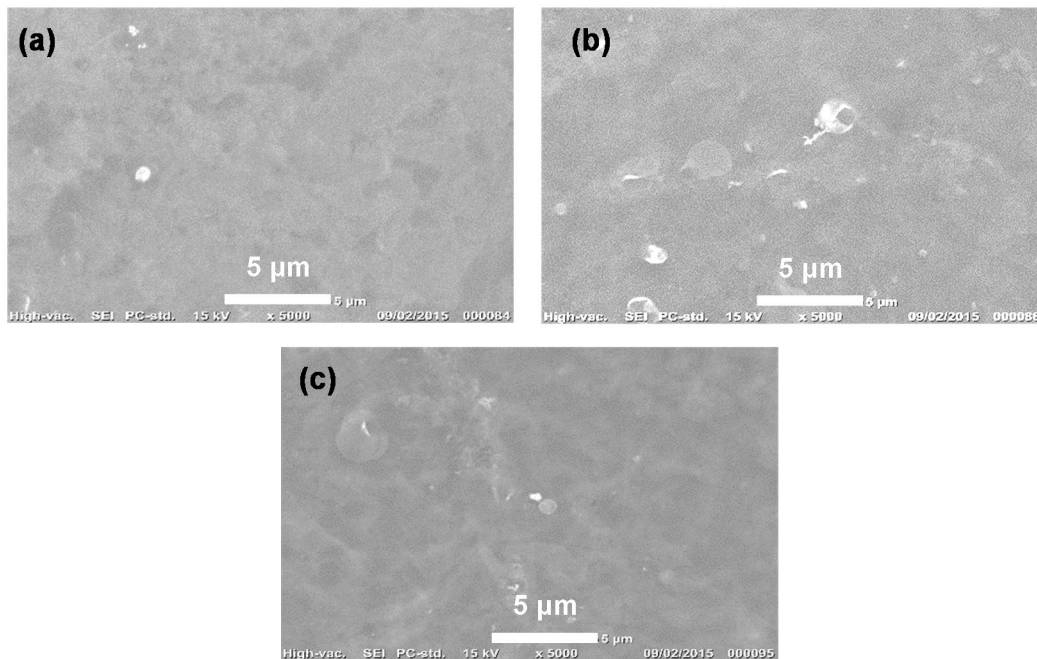
4.2. Karakteristik Morfologi Lapisan Tipis Tembaga Oksida

Pengamatan struktur mikro atau morfologi permukaan lapisan tipis tembaga oksida (*beam divider*) bertujuan untuk mengetahui sifat alamiah pembentukan lapisan tipis terhadap waktu. Sehingga dapat memberikan gambaran umum berkaitan pengaruh pembentukan lapisan tipis terhadap karakteristik optik yang dimilikinya. Pengamatan dilakukan pada sampel lapisan yang disintesis pada

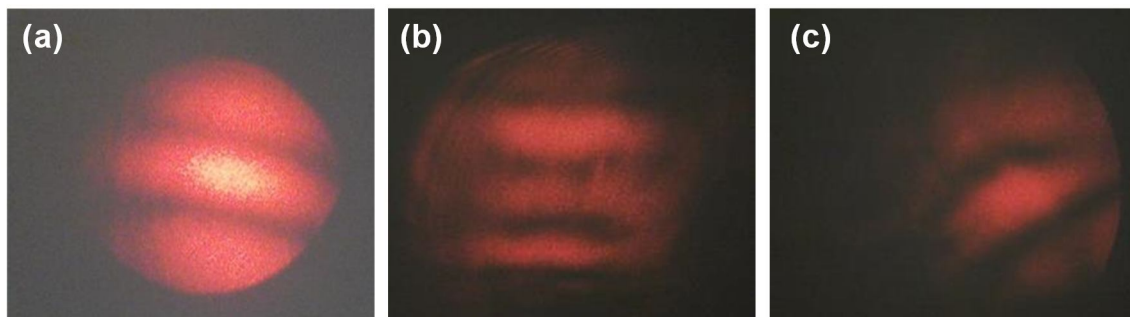
suhu substrat dan konsentrasi, dan variasi waktu deposisi masing-masing sebesar 300°C dan 0,01 M, dan 10s – 40s (**Gambar 8**). Morfologi permukaan lapisan tipis dengan waktu deposisi sebesar 10s menunjukkan permukaan yang berpori dengan ukuran tidak homogen, dan sebagian permukaan tidak terlapsi sempurna. Struktur mikro tersebut kemungkinan besar yang menyebabkan intensitas transmitansi lapisannya lebih besar. Kemudian, morfologi permukaan

lapisan tipis dengan waktu deposisi selama 20s memiliki kontur lapisan yang lebih rata dan hampur tertutupi sempurna (tidak berpori). Namun, morfologi permukaan lapisan tipis dengan waktu deposisi sebesar 20s memiliki kontur yang

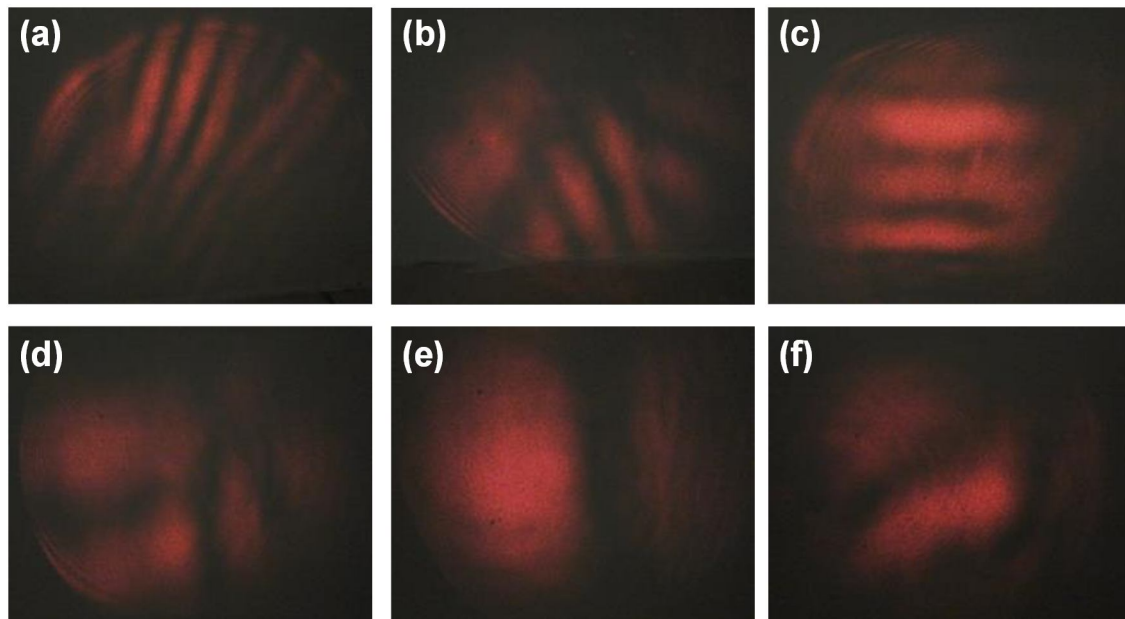
bergelombang akibat penumpukan partikel. Dengan demikian dapat diartikan bahwa intensitas transmitansi lapisan tipis tersebut dapat diatur dengan pengaturan ketebalannya.



Gambar 8. Citra SEM permukaan lapisan tipis oksida tembaga pada variasi waktu deposisi (a) 10 detik, (b) 20 detik dan (c) 40 detik, dengan konsentrasi dan perbesaran masing-masing sebesar 0.01 M dan 5000 kali.



Gambar 9. Pola interferensi sinar laser percobaan interferometer Michelson-Morley untuk (a) referensi LD-Didactic-Jerman, *beam divider* (b) (0,01 M, 20s), dan (c) (0,005 M, 50s).



Gambar 10. Pola interferensi pada percobaan interferometer Michelson-Morley untuk *beam divider* yang disintesis dengan konsentrasi 0,01 M dan waktu deposisi (a) 5s (87/13), (b) 10s (75/25), (c) 20s (50/50), (d) 30s (50/50), (e) 40s (33/67) dan (f) 50s (31/69).

4.3. Aplikasi Optika (Interferometer Michelson-Morley)

Gambar 9 adalah citra digital pola interferensi sinar laser pada percobaan interferometer Michelson-Morley untuk *beam divider* referensi dan lapisan tipis tembaga oksida. Citra digital tersebut menunjukkan terdapat kesamaan pola interferensi pada penggunaan *beam divider* referensi dan lapisan tipis. Hal tersebut

menunjukkan bahwa lapisan tipis tembaga oksida berfungsi dengan baik dan potensial sebagai *beam divider* pada percobaan optik, khususnya interferometer Michelson-Morley. Nilai rasio transmisi per refleksi (T/R) sangat berpengaruh terhadap kualitas pengamatan atau percobaan interferometer Michelson-Morley (**Gambar 10**). Pada *beam divider* dengan nilai T/R tinggi (>1) menghasilkan pola frinji yang banyak,

sehingga pola gelap terang sulit dibedakan. Pada *beam divider* dengan nilai R/T sama dengan satu menghasilkan jumlah frinji sebanyak tiga buah dengan pola gelap terang yang terlihat jelas. Sedangkan pada *beam divider* dengan nilai T/R yang kecil (<1) tidak dihasilkan pola gelap terang yang nyata. Dengan demikian pengembangan *beam divider* dengan karakteristik rasio transmisi per refleksi yang tepat sangat penting dilakukan untuk percobaan optik dengan kualitas yang baik.

5. Kesimpulan dan Saran

Lapisan tipis tembaga oksida sebagai *beam divider* pada percobaan optik telah berhasil dikembangkan menggunakan metode *spray pyrolysis*. Lapisan tipis tembaga oksida terbentuk pada permukaan kaca memiliki sifat yang unik. Sifat lapisan tipis tembaga oksida sebagai reflektor dan kaca sebagai substrat menghasilkan sifat refleksi dan transmisi yang dapat diatur berdasarkan ketebalan lapisannya. Lapisan tipis tembaga oksida dengan nilai rasio transmisi per refleksi

sebesar 50%/50% dihasilkan pada parameter konsentrasi dan waktu deposisi masing-masing sebesar 0,01 M dan 20s. Pengukuran tersebut dapat dikonfirmasi dan sesuai dengan pengamatan spektrometer UV-Vis, dimana intensitas transmisi lapisan tipis pada daerah cahaya tampak berubah seiring dengan pengaturan konsentrasi dan waktu deposisi. Selain itu, sifat alamiah penumbuhan lapisan tipis tembaga oksida terhadap waktu telah dikonfirmasi menggunakan SEM. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa waktu deposisi sangat berpengaruh terhadap struktur mikro lapisan tipis tembaga oksida, yaitu porositas dan ketebalannya. Kemudian, percobaan interferometer Michelson-Morley telah berhasil menunjukkan kesesuaian pola interferensi sinar laser yang dihasilkan oleh *beam divider* referensi dan *beam divider* berbasis lapisan tipis tembaga oksida. Dengan demikian lapisan tipis tembaga oksida berpotensi untuk dikembangkan lebih

lanjut, terutama pada aplikasi percobaan fisika optika disekolah.

Daftar Pustaka

- Adnyana, I G. A. P., dkk. "Pengaruh Ketebalan Lapisan Penyangga GaN Terhadap Struktur Kristal Dan Sifat Optik Film Tipis GaN Ditumbuhkan Dengan Metode Pulsed Laser Deposition. ." *FMIPA Universitas Udayana*. Denpasar, 2007.
- Ewing, G.W. *Instrumental Methods of Chemical Analysis. 5th Ed.* Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1985.
- Greve, D.W. *Thermal Chemical Vapor Deposition of Semiconductors for Thin Film Transistor Application* . USA: Department of Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University, 1994.
- Hariharan, P. *Optical Interferometry. 2nd Ed.* San Diego: Academic Press, 2003.
- Hecht, Eugene. *Optics, Fourth Edition.* San Francisco, Amerika Serikat: Addison Wesley, 2002.
- Herlambang, B. *Pembuatan Beam Splitter dari Lapisan Tipis Aluminium dengan Metoda Evaporasi Vakum untuk Alat Bidik Senjata.* Depok: Universitas Indonesia., 2012.
- Holland, L. *Vacuum Deposition of Thin Films.* London: Chapman and Hall Ltd., 1970.
- Hummel, Rolf E. *Electronic Properties of Materials, Third Edition.* Springer Science+Business Inc: Amerika Serikat, 2001.
- Macleod, H.A. *Thin Film Optical Filters. 4th.* Disunting oleh Boca Raton. CRC Press, 2010.
- Nadeem, M.Y., dan Waqas Ahmed. "Optikal Properties of ZnS Thin Films." *Turki Journal of Physics*, 2000: 651-659.
- Nuryadin, B.W., dkk. "Pengembangan Reaktor Spray Pyrolysis dan Spray

- Drying* Untuk Sintesis Partikel Oksida dan Partikel komposit Berbentuk Bulat dan Berukuran Mikrometer. ITB.” *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi* 2 (2008): --.
- Saragih, H., dkk. *Sifat Optik Lapisan Tipis In₂O₃ yang Ditumbuhkan dengan Metode MOCVD*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2010.
- Syuhada, dkk. “Pembuatan Konduktor Transparan Thin Film SnO₂ Dengan Menggunakan Teknik Spray Pyrolysis.” *Jurnal Himpunan Fisika Indonesia* 8, no. 1 (2008).
- Takenaka, H., S. Ichimaru, dan E.M. Gullikson. “EUV beam splitter for use in the wavelength region around 6 nm.” *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* 144-147 (2005): 1043-1045.
- Tola, P. S., dkk. “Pengaruh Perlakuan Refluks dalam Pembuatan Sol-Gel Nanokristal ZnO Terhadap Peningkatan Karakteristik Sel Surya Hibrid-nya.” *Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran dan Sains*. Bandung, 2013.
- Wang, Z.P., J.H. Shi, dan S.L. Ruan. “Design of infrared non-polarizing beam splitters.” *Optics & Laser Technology* 39, no. 2 (2007): 394-399.
- Yunitama, A., dkk. “Pengaruh Temperatur Penumbuhan Pada Struktur Dan Sifat Listrik Film Tipis CdS:ZnS (5%) Yang Ditumbuhkan Dengan Metode Dc Magnetron Sputtering.” Semarang, 2014.