

PENGARUH VARIASI JUMLAH LILITAN TERHADAP KESENSITIFITASAN SENSOR SERAT OPTIK BERBASIS TEKANAN

Fatimah Nur Hidayah¹, Ilham Bagas Indaryanto², Kurnanto Mukti Wibowo³

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Akademi Teknologi Warga Surakarta, Surakarta, Indonesia

³ Program Studi Teknik Rekayasa Elektromedis, Universitas Muhammadiyah Purwokerto,
Purwokerto, Indonesia

E-mail: fatimahnur.h@atw.ac.id

ABSTRAK

Teknologi optoelektronika saat ini sangat berkembang pesat terutama dalam suatu pengukuran beban. Tujuan dari penelitian ini yaitu membangun sistem sensor serat optik. Hal ini digunakan untuk menentukan tingkat kesensitifitasan yang paling optimal berdasarkan variasi jumlah lilitan. Selain hal itu, tujuan dari penelitian untuk menentukan karakteristik dari perubahan atenuasi cahaya serat optik di dalam spesimen komposit yang diberi tekanan. Target khusus yang ingin dicapai dalam penelitian adalah penentuan tingkat sensitifitas paling optimal berdasarkan banyaknya lilitan.

Metode yang digunakan ialah tekanan (*pressure*), perlakuan tekanan spesimen komposit yang didalamnya terdapat lilitan serat optik menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM). Adanya perlakuan tekanan tersebut maka akan membuat spesimen komposit mengalami keretakan. Keretakan spesimen akan terdeteksi dengan menggunakan sensor serat optik yang telah terhubung dengan komputer. Fungsi komputer dalam penelitian ini yaitu mendeteksi adanya perubahan transmisi cahaya serat optik.

Jumlah lilitan serat optik yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5, 10 dan 15 lilitan. Hasil data yang diperoleh ialah 5 lilitan dengan tekanan maksimal sebesar $4,5 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ menghasilkan atenuasi 23,01 dB; 10 lilitan dengan tekanan maksimal $4,3 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ menghasilkan atenuasi sebesar 26,02 dB; serta 15 lilitan dengan tekanan maksimal sebesar $3,8 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ menghasilkan atenuasi sebesar 33,8 dB. Kesenstifitasan sensor serat optik terdapat pada variasi 5 lilitan dengan nilai tekanan $1,8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ menghasilkan nilai atenuasi 2,67 dB

Kata kunci: lilitan, komposit, tekanan, serat optik dan sensor

ABSTRACT

Recently the technology of optoelectronics rapidly developing, especially in a load measurement. The purpose of this research is to build an optical fiber sensor system. It used to determine the most optimal sensitivity level based on winding variations. Besides that, the aim of the study was to determine the characteristics of the attenuation of optical fiber light in a compressed composite specimen. The specific target to be achieved in the research is to determine the optimal level of sensitivity based on winding number.

Research method used pressure, the treatment of composite specimens which is there are optical fiber winding using Compression Testing Machine (CTM). This pressure treatment caused composite specimen cracking. Crack in specimen would be detected using an optical fiber sensor that has been connected to computer. The function of the computer in this study is to detect changes light transmission in optical fiber.

The number of optical fiber winding in this study was 5, 10 and 15 turns. The results of the data obtained are 5 windings with a maximum pressure of $4.5 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ producing attenuation 23.01 dB; 10 windings with a maximum pressure of $4.3 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ producing attenuation 26.02 dB; and 15 windings with a maximum pressure of $3.8 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ produce attenuation of 33.8 dB. Sensitivity of optical fiber sensor on 5 turns with a pressure value $1.8 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ resulting in an attenuation value 2.67 dB

Keywords: windings, composites, pressure, optical fiber and sensors

1. PENDAHULUAN

Jalan raya, jembatan dan gedung merupakan infrastruktur bangunan yang penting di Indonesia. Infrastruktur tersebut guna mendukung aksesibilitas masyarakat dan penyaluran suatu produk dari tempat satu ke tempat lainnya. Akan tetapi sering terjadi keretakan akibat usia infrastruktur bangunan yang sudah tua atau faktor kelalaian manusia. Terjadinya keretakan bermula dari keretakan kecil, kemudian secara bertahap berkembang karena beban siklik. Beban siklik adalah pembebanan / tekanan berulang yang teratur pada suatu bagian bangunan sehingga menyebabkan fraktur kelelahan (*fatigue*). Pada akhirnya keretakan tersebut mengakibatkan terjadinya keretakan jalan raya, serta keruntuhan jembatan dan bangunan [1].

Pada saat ini perkembangan teknologi salah satunya dipengaruhi oleh optoelektronika dan serat optik komunikasi. Serat optik adalah contoh *waveguide* permukaan elektronik. Prinsip transmisi cahaya serat optik didasarkan pada pemantulan sempurna [2]. Dalam proses perkembangannya, telah dilakukan penelitian untuk desain sensor / penginderaan serat optik [3]. Prinsip kerja sensor serat optik yaitu memanfaatkan pelemahan transmisi cahaya sehingga sistemnya mampu mendeteksi keretakan yang terjadi di dalam struktur bangunan [4].

Penelitian tentang tekanan terhadap intensitas cahaya serat optik telah dilakukan oleh Pandey. Tekanan tersebut mengakibatkan terjadinya deformasi suatu material yang terdapat serat optik. Posisi serat optik diantara kedua material, sehingga ketika material diberi tekanan maka serat optik akan mengalami pembengkokan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar tekanan maka nilai intensitas cahaya yang dipantulkan semakin kecil [5].

Salah satu pendeteksi keretakan material digunakan teknik gaya tekan (*pressure force*) pada serat optik. Gaya tekan tersebut menyebabkan terjadinya atenuasi pada serat optik. Atenuasi ialah penurunan intensitas cahaya pada serat optik yang disebabkan oleh adanya pembengkokan mikro (*microbending*) dan pembengkokan makro (*macro bending*). Suatu sistem sensor semakin baik jika tingkat sensitifitasnya semakin tinggi. Peningkatan sensitifitas sensor dalam penelitian ini digunakan teknik tekanan, sehingga dalam aplikasinya sensor serat optik pendeteksi keretakan memiliki tingkat respon sensitifitas yang baik [6].

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini mengacu pada *Standard Test Method (STM) C-770* yang berisi tentang Metode Standar Pengujian untuk Pengukuran Tekanan – Koefisien Optik. Penghubung antar perangkat dalam sistem penelitian ini digunakan adapter *Subscriber Connector (SC)* simpleks. Tipe SC ini digunakan untuk serat optik *patchcord single mode* dengan sistem *plug-unplug* (cabut-pasang).

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Penelitian ini meliputi tiga tahapan utama. Tahap pertama yaitu manufaktur spesimen komposit berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Variasi lilitan yang digunakan pada masing-masing spesimen adalah 5 lilitan, 10 lilitan dan 15 lilitan. Tahap kedua yaitu *set up* alat sistem tekanan. Tahap ketiga yaitu pengambilan data yang meliputi variasi lilitan serat optik.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu serat optik *patchcord single mode step index* dan material komposit. Material komposit yang digunakan adalah resin, katalis dan *rubber* plastisol.

Alat yang digunakan ialah laser dioda JW3109 SC/PC, *Fiber coupler* 50:50, konektor dan fotodioda. Fungsi dari fotodioda yaitu untuk mendeteksi cahaya yang ditransmisikan oleh serat optik. Fotodioda tersebut ada dua yaitu:

1. Fotodioda 1 berfungsi untuk mendeteksi intensitas keluaran cahaya serat optik referensi.

2. Fotodiode 2 berfungsi untuk mendeteksi intensitas keluaran cahaya serat optik yang terdapat dalam spesimen komposit.

Transmisi serat optik yaitu perbandingan antara intensitas cahaya serat optik referensi dan modulasi. Intensitas cahaya tersebut dikonversi menjadi sinyal digital berupa tegangan melalui *Analog to Digital Converter*. Persamaan transmisi serat optik yaitu [7]:

$$T = \frac{V_2}{V_1} \quad (1)$$

Keterangan:

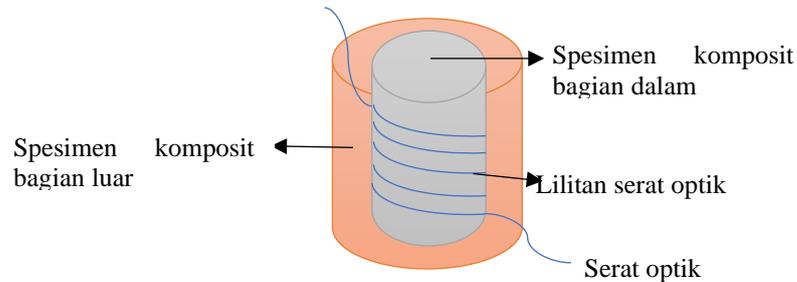
T = transmisi

V_1 = tegangan pada serat optik referensi

V_2 = tegangan pada serat optik modulasi

Manufaktur spesimen material komposit terbuat dari resin, katalis dan *rubber* plastisol. Ukuran spesimen dari material komposit yaitu berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm, serta berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Sedangkan, variasi lilitan serat optik yang digunakan yaitu 5 lilitan, 10 lilitan dan 15 lilitan.

Serat optik diletakkan secara horisontal dan sinusoidal terhadap tinggi spesimen material komposit. Skema spesimen material komposit ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Skema spesimen komposit yang di dalamnya terdapat lilitan serat optik

Penelitian ini didasarkan pada hukum Pascal yang menyatakan bahwa tekanan pada suatu zat padat sama dengan gaya per satuan luas. Konversi luasan dalam sistem penelitian digunakan ketinggian spesimen material komposit. Secara matematis, tekanan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P_{tekanan} = \frac{F}{A} \quad (2)$$

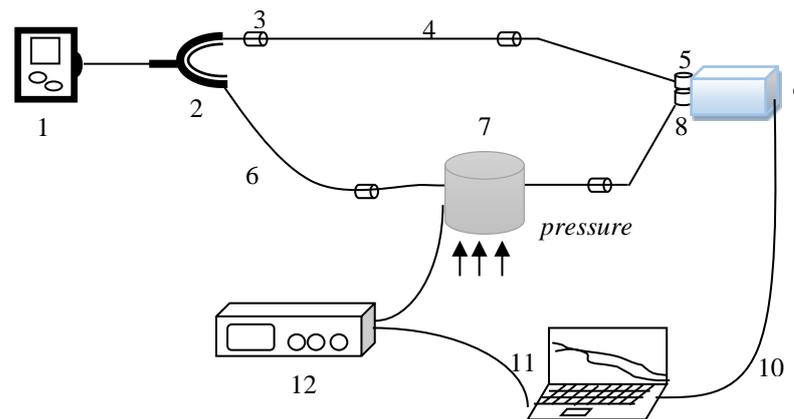
Keterangan:

P = tekanan (N/m^2)

F = gaya tekan (N)

A = luas bidang tekan (m^2)

Konsep sistem tekanan / *bending* dalam penelitian ini adalah sumber cahaya ditransmisikan melalui dua buah serat optik. Serat optik pertama sebagai referensi yang dihubungkan dengan fotodiode 1. Serat optik kedua terdapat dalam spesimen spesimen komposit diberi perlakuan tekanan yang dihubungkan dengan fotodiode 2. Kedua fotodiode tersebut dihubungkan dengan ADC (*Analog to Digital Converter*). Besarnya perubahan transmisi cahaya dapat diketahui dengan menggunakan laptop yang telah terhubung dengan ADC.



Gambar 2. Skema penelitian spesimen komposit yang di dalamnya terdapat lilitan serat optik

Keterangan:

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Laser dioda | 7. Obyek penelitian |
| 2. <i>Fiber Coupler</i> | 8. Fotodioda obyek penelitian |
| 3. Konektor | 9. <i>Analog to digital converter (ADC)</i> |
| 4. Serat optik referensi | 10. Kabel data <i>USB to RS-232</i> |
| 5. Fotodioda referensi | 11. Laptop / <i>personal computer</i> |
| 6. Serat optik modulasi | 12. <i>Portable data logger</i> |

Besarnya pelemahan cahaya pada serat optik akibat adanya tekanan dinyatakan dengan *decibels* (dB). Serat optik menggunakan *decibels* untuk membandingkan daya luaran dari serat optik dengan daya masukannya. Besarnya daya pada serat optik dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini [5]:

$$dB = 10 \log \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \quad (3)$$

Keterangan:

- P_{in} = daya awal yang masuk (*Watt*)
 P_{out} = daya yang diterima detektor (*Watt*)
 dB = *decibels* (satuan atenuasi)

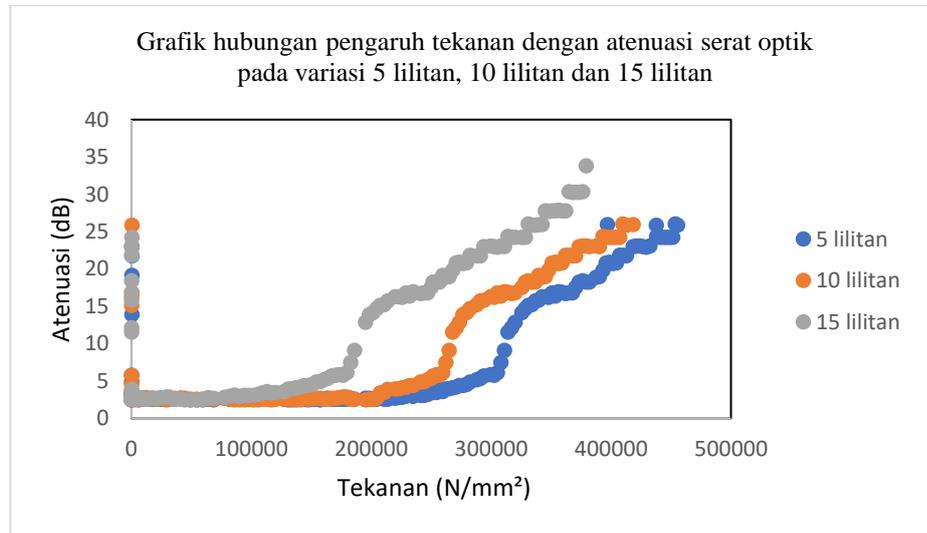
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini digunakan sistem pembengkokan (*bending*) pada serat optik. Pembengkokan serat optik berasal dari tekanan yang diberikan oleh *Compression Testing Machine* (CTM). Tekanan yang diberikan tidak secara langsung mengenai serat optik, akan tetapi mengenai permukaan bagian atas dan bawah spesimen komposit. Hal ini mengakibatkan serat optik mengalami pembengkokan sehingga cahaya yang ditransmisikan mengalami penurunan. Terjadinya penurunan transmisi cahaya berakibat meningkatnya pelemahan cahaya / atenuasi pada serat optik.

Sistem penelitian dengan memanfaatkan penurunan intensitas cahaya yang digunakan untuk mendeteksi keretakan spesimen komposit yang di dalamnya terdapat serat optik. Keretakan spesimen komposit tersebut disebabkan oleh CTM. Prinsip kerja CTM yaitu memberikan penambahan nilai tekanan terhadap spesimen komposit hingga spesimen tersebut mengalami kerusakan. Spesimen komposit yang rusak mengakibatkan serat optik yang di dalamnya tidak lagi mampu mentransmisikan cahaya.

Hasil penelitian didasarkan pada Persamaan 2 yang menyatakan bahwa tekanan berbanding lurus dengan gaya tekan. Tekanan yang dihasilkan oleh CTM mengakibatkan pertambahan gaya tekan pada spesimen spesimen komposit. Adanya pertambahan gaya

tekan mengakibatkan gangguan pada serat optik. Jika serat mendapatkan gangguan maka tidak akan terjadi pemantulan sempurna.



Gambar 2. Grafik hubungan pengaruh tekanan dengan atenuasi serat optik pada variasi 5 lilitan, 10 lilitan dan 15 lilitan

Grafik penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah lilitan serat optik, maka kemampuan serat optik dalam menahan tekanan semakin sedikit. Tekanan tersebut mengakibatkan adanya pembengkokan pada serat optik. Masing – masing nilai tekanan yang menyebabkan pembengkokan makro serat optik pada variasi 5 lilitan, 10 lilitan dan 15 lilitan yaitu 3×10^5 N/mm²; $2,5 \times 10^5$ N/mm² dan $1,8 \times 10^5$ N/mm².

Hasil penelitian pada Gambar 2 mengindikasikan bahwa semakin besar tekanan, maka nilai atenuasi serat optik semakin besar. Atenuasi terjadi ketika pemantulan cahaya dalam serat optik tidak sempurna. Hal ini berlaku pada masing-masing variasi lilitan.

Trendline grafik menunjukkan bahwa saat spesimen komposit diberikan tekanan oleh CTM, serat optik masih mampu mentransmitasikan cahaya. Hal ini dapat dilihat bahwa nilai atenuasinya mendekati nol. Pernyataan ini dibuktikan pada data 5 lilitan dengan nilai tekanan 0 - 3×10^5 N/mm²; 10 lilitan dengan nilai tekanan 0 - $2,5 \times 10^5$ N/mm²; dan 15 lilitan dengan nilai tekanan 0 - $1,8 \times 10^5$ N/mm². Pada *trendline* ini sudah terjadi pembengkokan mikro dalam serat optik, pembengkokan mikro tersebut mengakibatkan sudut pantul kurang dari 90°. Jika sudut pantul kurang dari 90° maka tidak terjadi pemantulan sempurna di dalam serat optik. Pemantulan yang tidak sempurna mengindikasikan adanya cahaya yang hilang dalam serat optik.

Trendline grafik juga menunjukkan bahwa adanya peningkatan nilai atenuasi sedikit demi sedikit seiring dengan pertambahan nilai tekanan. Peningkatan nilai atenuasi ini terjadi ketika nilai tekanan lebih besar dari nilai tekanan pada awal pembengkokan makro serat optik. *Trendline* grafik ini menunjukkan bahwa cahaya yang hilang lebih besar. Cahaya yang hilang tersebut disebabkan oleh tekanan beban CTM yang semakin besar. Hasil data yang diperoleh ialah 5 lilitan dengan tekanan maksimal sebesar $4,5 \times 10^5$ N/mm² menghasilkan atenuasi sebesar 23,01 dB; 10 lilitan dengan tekanan maksimal sebesar $4,3 \times 10^5$ N/mm² menghasilkan atenuasi sebesar 26,02 dB; serta 15 lilitan dengan tekanan maksimal sebesar $3,8 \times 10^5$ N/mm² menghasilkan atenuasi sebesar 33,8 dB.

Kesenstifitasan sensor serat optik ditentukan oleh perubahan nilai tekanan yang sedikit diperoleh perubahan nilai atenuasi [6]. Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian ini variasi lilitan yang optimal untuk desain sensor serat optik adalah 5 lilitan. Nilai tekanan $1,8 \times 10^5$ N/m² menghasilkan nilai atenuasi 2.67 dB.

4. KESIMPULAN

Tekanan berpengaruh terhadap atenuasi cahaya pada serat optik. Hubungan antara tekanan dengan atenuasi cahaya adalah berbanding lurus, yaitu semakin besar nilai tekanan maka nilai atenuasi serat optik semakin besar. Selain hal itu, hubungan antara variasi lilitan dengan atenuasi ialah berbanding lurus, semakin banyak variasi lilitan maka nilai atenuasi cahaya semakin besar.

Hasil data yang diperoleh ialah 5 lilitan dengan tekanan maksimal sebesar $4,5 \times 10^5$ N/mm² menghasilkan atenuasi 23,01 dB; 10 lilitan dengan tekanan maksimal $4,3 \times 10^5$ N/mm² menghasilkan atenuasi sebesar 26,02 dB; serta 15 lilitan dengan tekanan maksimal sebesar $3,8 \times 10^5$ N/mm² menghasilkan atenuasi sebesar 33,8 dB.

Kesenstifitasan desain optimal sensor serat optik yaitu 5 lilitan, dengan nilai tekanan $1,8 \times 10^5$ N/m² menghasilkan nilai atenuasi 2,67 dB.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih pada Pak Bowo yang telah membantu dalam proses pengujian spesimen di Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Diponegoro Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tsuda, H., Lee, J. R., Guan, Y., Takatsubo, J., 2007, Investigation of Fatigue Crack in Stainless Steel using a mobile Fiber Bragg Grating Ultrasonic Sensor, *Journals of Optical Fiber Technology* 13, 209-214.
- [2] Fidanboylu, Efendioglu, 2009, Fiber Optic Sensors and Their Application, *5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09)*, Karabuk, Turkey.
- [3] Fidanboylu, Efendioglu, 2009, Fiber Optic Sensors and Their Application, *5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09)*, Karabuk, Turkey.
- [4] Efendioglu, H. S., Yildirim, T., Toker, O., Fidanboylu, K., 2013, New Statistical Features For the Design of Fiber Optic Statistical Mode Sensors, *Journals of Optical Fiber Technology* 19, 279-284.
- [5] Pandey, N. K., Yadav, B. C., 2006, Embedded Fibre Optic Sensor for Measurement of High Pressure and Crack Detection, *Journals of Sensors and Actuators A* 128, 33-36.
- [6] Verghese, P. B., Vinod, P., Jibukumar, Madhusoodanan, K. N., Radhakrishnan, P., 2012, A Quasi Distributed Fiber Optic Weight-Displacement Sensor using Macro Bends, *Journals of Optical Fiber Technology*, 18, 215-219.
- [7] Webster, J.G. 1999. *Measurement, Instrumentation and Sensor Handbook*. CRC Press LLC.
- [8] Woodward, B., Husson, E. B., 2005, *Fiber Optics Installer and Technician Guide*, Sybex Inc, United States.