

# DESAIN BENDING DETECTOR PADA MATERIAL KOMPOSIT DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR SERAT OPTIK

Fatimah Nur Hidayah<sup>1\*</sup>, Totok Wartiono<sup>2</sup>, Kusnanto Mukti Wibowo<sup>3</sup>,  
Petrus Heru Sudargo<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia Tekstil, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Rekayasa Elektromedis, Universitas Muhammadiyah Purwokerto,  
Purwokerto, Indonesia

\*Email: fatimahnur.h@sttw.ac.id

## ABSTRAK

Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan pengembangan material baru untuk memperkuat struktur material yang sudah rusak telah meningkat dengan cepat. Banyak negara berkembang mengajukan permintaan untuk meningkatkan struktur material komposit yang ada. Pengembangan material *smart concrete* dalam hal infrastruktur sangat penting agar pembangunan negara tetap berjalan. Pada penelitian ini akan digunakan material komposit sebagai spesimen uji tegangan maksimum dan minimum. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun sistem detektor lentur pada material komposit dengan menggunakan sensor serat optik. Dalam hal ini didapatkan karakteristik cahaya serat optik pada material komposit. Material komposit terdiri dari Aluminium (Al) dan Baja Karbon - SS 400. Ukuran benda uji adalah 290 mm x 72 mm x 12 mm. Perlakuan pada penelitian ini menggunakan pembengkokan makro dan pembebanan pembengkokan maksimal  $5 \times 10^5$  N. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada saat nilai pembebanan mencapai  $40 \times 10^5$  N nilai atenuasi sensor serat optik mendekati 2,5 dB. Namun bila beban tekukan melebihi nilai tersebut maka atenuasi serat optik semakin meningkat. Dapat dirincikan bahwa beban tekuk  $39,91 \times 10^5$  N dan  $40,14 \times 10^5$  N dengan atenuasi 2,95 dB dan 3,08 dB merupakan nilai sensitivitas. Dari hasil perhitungan nilai sensitivitas sensor adalah 0,54 dB / N.

**Kata kunci:** pembengkokan, sensor, serat optik, atenuasi, sensitivitas.

## ABSTRACT

*In recent years, the demand for developing new materials to reinforce the structure of damaged materials has increased rapidly. Many developing countries have made requests to improve the existing composite material structures. The development of smart concrete materials in terms of infrastructure is very important so that the country's development continues. In this study, composite materials will be used as the maximum and minimum stress test specimens. The purpose of this research is to build a flexible detector system on a composite material using a fiber optic sensor. In this case, the fiber optic light characteristics are obtained in the composite material. Composite materials consist of Aluminum (Al) and Carbon Steel - SS 400. The size of the specimen is 290 mm x 72 mm x 12 mm. The treatment in this study used macro bending and a maximum bending loading of  $5 \times 10^5$  N. The results showed that when the loading value reached  $40 \times 10^5$  N the attenuation value of the optical fiber sensor was close to 2.5 dB. However, if the bending load exceeds this value, the optical fiber attenuation increases. It can be specified that the bending loads of  $39.91 \times 10^5$  N and  $40.14 \times 10^5$  N with an attenuation of 2.95 dB and 3.08 dB are the sensitivity values. From the calculation of the sensor sensitivity value is 0.54 dB / N.*

**Keywords:** bending, sensors, optical fiber, attenuation, sensitivity.

## 1. PENDAHULUAN

Baru-baru ini, kekurangan struktur material yang ada disebabkan oleh cacat desain, serangan kimiawi dan penuaan elemen struktur (Yin, 2008). Kebutuhan mendesak meningkat untuk menemukan cara yang efektif untuk meningkatkan kinerja struktur tanpa menambah berat, perawatan pantai dan waktu.

Salah satu bahan pengganti material yang rusak adalah komposit. Keunggulan material komposit adalah tidak hanya memiliki sifat yang berbeda dari material penyusunnya, tetapi komposit dapat menjadi material yang jauh lebih baik dari material penyusunnya. Selain itu dapat dirancang sesuai kebutuhan dan kelelahan serta keuletan komposit umumnya lebih baik dari pada logam-logam teknis [1].

Perancangan detektor lentur pada material komposit menggunakan sensor serat optik. Ini memiliki keunggulan sensitivitas tinggi, ketahanan terhadap elektromagnetik, respon cepat dan lebar pita tinggi [2].

Penelitian tekanan intensitas cahaya serat optik telah dilakukan oleh Pandey. Hasil ini menyatakan bahwa tekanan pada material melibatkan deformasi material yang mengandung serat optik [3]. Posisi serat optik diantara dua material yaitu Aluminium dan Carbon Steel SS 400. Sehingga pada saat material komposit mengalami tekanan maka serat optik tersebut akan bengkok. Jika serat optik dibengkokkan, maka intensitas cahaya akan berkurang. Proses penurunan intensitas cahaya dimanfaatkan untuk sensor serat optik.

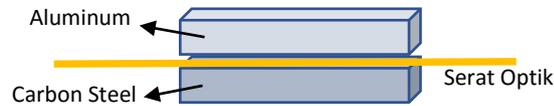
Pada penelitian ini digunakan obyek material komposit karena pembentukannya mudah, liat dan memiliki daya kuat tekan yang tinggi [4]. Pengukuran tentang pengaruh tekanan terhadap atenuasi serat optik dilakukan dengan cara memasukkan serat optik secara horisontal dalam material komposit. Material komposit ini terbentuk dari berupa aluminium dan steel: S50C. Kemudian komposit tersebut diberi tekanan makro *two points bending* dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Serat optik yang digunakan adalah serat optik *single mode - step index*. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser dioda JW3109 dengan panjang gelombang 1310 nm. Intensitas cahaya pada serat optik dideteksi dengan menggunakan fotodiode, kemudian cahaya tersebut diteruskan ke *Analog to Digital Counter* (ADC). Fungsi dari ADC adalah peubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik. Besarnya keluaran intensitas cahaya serat optik yang berupa sinyal listrik dapat diketahui dengan menggunakan laptop. Besarnya nilai tekanan secara *real time* dapat diketahui dengan alat *portable data logger* yang terhubung dengan UTM dan komputer. Selanjutnya, dari hasil yang diperoleh dapat diketahui nilai atenuasi pada serat optik yang telah diberi tekanan.

## 2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini mengacu pada Standard Test Method (STM) C-393 yang berisi tentang Konstruksi Sandwich. Dalam penelitian ini perangkat konektor menggunakan adaptor simpleks Subscriber Connector (SC). Ini digunakan untuk serat optik kabel patch mode tunggal dengan sistem plug - unplug.

Alat yang digunakan laser 1310 nm, fiber coupler 50:50, konektor SC, fotodiode sebagai pendeteksi cahaya, portable data logger, analog to digital converter (ADC), kabel USB ke RS 232 dan Personal Computer (PC). Sedangkan bahan yang digunakan serat optik kabel patch single mode step index dan bahan komposit: Aluminium dan Baja Karbon SS 400. Dimensi masing-masing benda uji komposit adalah 290 mm x 72 mm x 12 mm. Sehingga total tinggi benda uji adalah 24 mm.

Pengambilan data digunakan untuk mengetahui efek makro lentur pada serat optik. Dimana serat optiknya terdapat pada material komposit. Itu ditempatkan secara horizontal antara Aluminium dan Carbon Steel SS 400. Selain itu, serat optik juga terletak di setengah dari tinggi spesimen komposit.



**Gambar 1.** Material Komposit

Penelitian berdasarkan persamaan transmitansi yaitu:

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

Keterangan:

$T$  = transmitansi

$V_1$  = tegangan pada serat optik referensi (volt)

$V_2$  = tegangan pada serat optik modulator (volt)

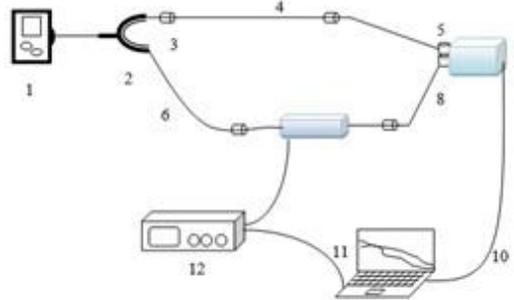
Berdasarkan persamaan tersebut maka dapat diketahui nilai transmitansi cahaya pada serat optik. Perubahan transmisi cahaya akibat pembengkokan makro oleh Universal Testing Machine (UTM). Nilai transmitansi digunakan untuk menentukan besarnya atenuasi pada serat optik yang terdapat pada material komposit. Persamaan atenuasi serat optik adalah:

$$dB = 20 \log \frac{1}{T} \quad (2)$$

Keterangan:

dB: unit atenuasi serat optik (decibel)

Perancangan alat pendeteksi bending pada material komposit dengan menggunakan sensor serat optik dapat dilihat pada Gambar 2. berikut ini.



**Gambar 2.** Desain detektor bending pada material komposit

1. Dioda laser
2. Fiber Coupler 50:50
3. Konektor SC
4. Referensi serat optik
5. Referensi fotodioda
6. Modulator serat optik
7. Objek penelitian
8. Objek penelitian fotodioda
9. Pengonversi analog ke digital (ADC)
10. Kabel data USB ke RS-232

11. Komputer Pribadi (PC)
12. Pencatat data portabel

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan sistem lentur pada serat optik. Pembengkokan serat optik akibat beban pembengkokan yang diberikan oleh Universal Testing Machine (UTM). Ini tidak secara langsung tentang serat optik, tetapi tentang permukaan bahan komposit atas. Hal ini mengakibatkan terjadinya pembengkokan makro pada inti serat optik. Sehingga cahaya yang ditransmisikan berkurang. Kasus ini juga mengatakan bahwa redaman cahaya pada serat optik semakin meningkat.

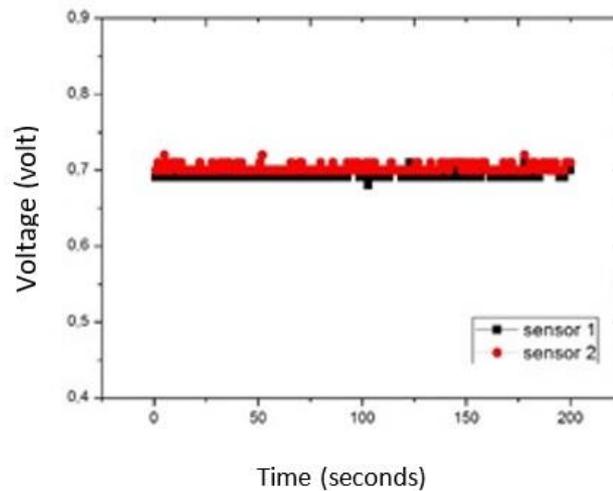
Sistem penelitian memanfaatkan penurunan intensitas cahaya. Ini digunakan untuk deteksi tekukan pada material komposit menggunakan sensor serat optik. Nilai beban tekuk maksimal adalah  $5 \times 10^5$  N. Prinsip UTM adalah menambah nilai tekanan sampai dengan  $5 \times 10^5$  N. Sedangkan untuk pembengkokan material komposit digunakan sampai bengkok. Lengkungan material komposit mengakibatkan serat optik tidak mampu lagi mentransmisikan intensitas cahaya. Arah pembengkokan material komposit dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Material komposit ditebuk oleh UTM

Beban lentur pada material komposit menghasilkan pembengkokan makro pada serat optik. Hal itu terjadi karena kelengkungan mengarah ke pusat material komposit [5]. Pembengkokan ini melibatkan transmisi intensitas cahaya pada serat optik yang tidak dapat dipantulkan dengan sempurna. Penelitian menggunakan indeks langkah mode serat optik. Ini hanya transmisi satu mode intensitas cahaya. Transmisi serat optik ada di inti. Ketika material komposit mulai menekuk, akan terjadi penurunan nilai transmitansi cahaya. Hal ini dikarenakan inti serat optik diberi beban lentur oleh UTM.

Beberapa hal yang harus diperhatikan saat melakukan pengujian beban tekuk terhadap atenuasi adalah nilai tegangan kedua serat optik harus sama. Nilai yang sama menunjukkan bahwa intensitas cahaya dibagi fiber coupler dan diterima oleh fotodiode adalah sama. Prinsip ini juga berlaku saat mengkalibrasi sistem penelitian. Kalibrasi harus dilakukan sebelum mengumpulkan data. Jika nilai tegangan referensi dan modulasi serat optik sama besarnya, maka dapat dipastikan intensitas cahaya kedua serat optik tersebut dipantulkan dengan sempurna. Kasus ini terjadi sebelum inti rusak. Ia juga mengatakan bahwa tidak ada atenuasi pada serat optik.



**Gambar 4.** Grafik tegangan acuan dan modulasi serat optik sebelum mengalami pembengkokan

Keterangan:

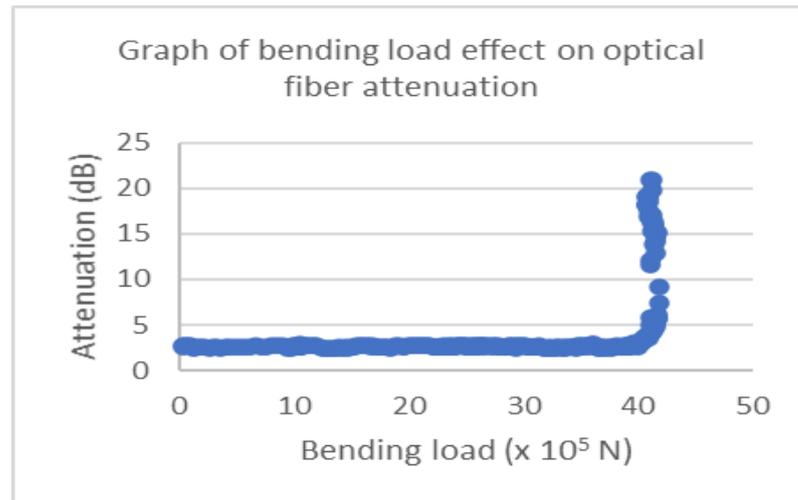
Sensor 1 = nilai tegangan serat optik referensi

Sensor 2 = nilai tegangan serat optik modulasi

Pada Gambar 5 terlihat bahwa nilai tegangan referensi dan modulasi serat optik sama besarnya. Ini berarti bahwa transmisi cahaya dibagi dengan fiber coupler adalah sama besarnya. Pada teras tidak diberi beban lentur maka terjadi nilai intensitas cahaya yang konstan. Namun pada saat pembebanan lentur dilakukan pada material komposit permukaan, didapatkan hasil bahwa nilai intensitas cahaya semakin menurun. Hal itu disebabkan intensitas cahaya tidak dipantulkan kembali ke inti. Cahaya keluar melalui cladding atau diserap ke dalam batas antara core dan cladding serat optik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengujian detektor tekuk dengan perangkat ADC terbukti mampu mendeteksi intensitas cahaya pada serat optik.

Hasil pengujian beban lentur material komposit menggunakan sensor serat optik

Sistem yang dikembangkan berdasarkan pemanfaatan atenuasi serat optik. Ini disebabkan oleh pembengkokan makro pada serat optik. Pembengkokan makro terjadi pantulan cahaya pada inti serat optik yang terganggu. Saat hal ini terjadi, intensitas cahaya tidak dapat dipantulkan dengan sempurna. Di sisi lain, sudut pantulan serat optik kurang dari  $90^\circ$ . Syarat untuk pantulan sempurna adalah sudutnya harus sama atau lebih tinggi dari  $90^\circ$ . Sehingga bila inti serat optik dibengkokkan, maka tidak dapat memantulkan intensitas cahaya dengan sempurna. Yakni, kerugian lentur serat optik [6].



**Gambar 5.** Efek beban lentur pada atenuasi serat optik

Grafik menunjukkan bahwa nilai atenuasi memiliki perbedaan yang signifikan antara sebelum dan sesudah teras dibengkokkan dengan beban tekuk. Awal pembengkokkan material komposit saat nilai beban tekuk mencapai  $40 \times 10^5$  N. Setelah itu nilai atenuasi meningkat secara signifikan.

Pada nilai beban tekuk  $0 \times 10^5$  N sampai dengan  $39,91 \times 10^5$  N nilai redaman hampir tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Namun perbedaan yang signifikan ditemukan pada nilai atenuasi yang mengalami awal pembengkokkan material. Saat material ditekuk oleh UTM, serat optik juga mengikuti alur lentur material. Pada tahap ini, inti serat optik dideformasi dengan perlakuan pembengkokkan. Deformasi serat optik mengakibatkan intensitas pantulan cahaya tidak dipantulkan dengan sempurna / rugi tekuk. Ini melibatkan penurunan intensitas cahaya. Proses penurunan intensitas cahaya dideteksi dengan fotodioda. Intensitas cahaya di dioda diubah menjadi tegangan dengan Analog to Digital Converter (ADC). Dapat diindikasikan bahwa intensitas cahaya berbanding lurus dengan nilai tegangan.

Semakin besar nilai beban tekuk maka intensitas cahaya serat optik semakin menurun. Namun penurunan intensitas cahaya menyebabkan peningkatan nilai atenuasi.

#### 4. KESIMPULAN

Sistem detektor untuk material komposit tekukan telah dibangun dengan menggunakan sensor serat optik. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan nilai redaman sebelum dan sesudah serat optik dibengkokkan. Ketika serat optik belum dibengkokkan dengan beban lentur, nilai atenuasi yang diperoleh hampir mendekati nol. Sedangkan pada saat serat optik diberi beban tekuk maka terjadi peningkatan nilai atenuasi. Awal pembengkokkan material komposit terjadi pada saat nilai beban tekuk  $40 \times 10^5$  N.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih khusus saya ucapkan kepada staf Laboratorium Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang: Bapak Bowo dan Pak Tony yang telah membantu saya menemukan banyak hal baru dalam setiap langkah penelitian yang luar biasa ini. Selain itu kepada LPPM Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta yang telah memberikan dukungan penuh terhadap riset ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] T. Lau, 2005, Fibre Optic Sensors and Smart Composites for Concrete Applications, *Magazine of concrete Research* 55, No. 1, 19-34.
- [2] Chen, H., 2009, Fiber Optic Pressure Sensor Based on A Single Mode Fiber F-P Cavity, *Journals of Measurement* 43, 370-374.
- [3] 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.
- [4] Yin, S., Ruffin, P. B., Yu, F. T. S., 2008, *Fiber Optics Sensors*, 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York.
- [5] P. Pevzner, H. Abramovich, T. Weller, 2008, Calculation of the Collapse Load of an Axially Compressed Laminated Composite Stringer-Stiffened Curved Panel an Engineering Approach, *Composite Structure* 83, 341-353
- [6] Efendioglu, H. S., Yildirim, T., Toker, O., Fidanboyu, K., 2013, New Stastical Features For the Design of Fiber Optic Statistical Mode Sensors, *Journals of Optical Fiber Technology* 19, 279-284.