

ANALISIS PEMBEBANAN TERHADAP PANJANG GELOMBANG CAHAYA BERBASIS SENSOR FIBER BRAGG GRATING (FBG)

Fatimah Nur Hidayah^{1*}, Haikal²

¹Program Studi D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta, Indonesia

²Program Studi S1 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta, Indonesia

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

ABSTRAK

Sensor fiber optik menawarkan alternatif kinerja yang tinggi karena memberikan solusi biaya rendah, tahan terhadap gangguan elektromagnetik, kemampuan *multiplexing* dan integrasinya tinggi. Kinerja sensor fiber optik berlaku untuk mengukur parameter fisik seperti tekanan dan suhu [1]. Saat ini banyak dikembangkan sensor fiber optik FBG yang memanfaatkan perubahan panjang gelombang karena adanya pembebanan. Pembebanan tersebut mengakibatkan adanya fenomena defleksi pada material uji. Prinsip kerja sensor FBG yaitu pengukuran pemantulan Panjang gelombang Bragg [2].

Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis pembebanan terhadap pergeseran panjang gelombang cahaya pada fiber optik FBG. Metode yang digunakan ialah pemberian beban material uji rubber. Nilai pembebanan yang digunakan penelitian ini yaitu 10 kg. Pembebanan dilakukan dari arah atas permukaan material uji rubber, dengan dimensi 246 mm x 19 mm x 7 mm. Fiber optik FBG ditanam di tengah-tengah material rubber secara horizontal. Adanya pembebanan tersebut berpengaruh pada defleksi material, sehingga mengakibatkan pergeseran pemantulan panjang gelombang cahaya pada fiber optik FBG. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser dengan rentang panjang gelombang 1510 nm – 1590 nm. Pergeseran Panjang gelombang saat pemberian beban dideteksi oleh serangkaian sensor serat optik FBG yang terhubung dengan komputer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada pergeseran panjang gelombang pada pembebanan 10 kg. Nilai panjang gelombang Bragg (λ_B) sebelum diberi pembebanan ialah 1550,6 nm, sedangkan nilai λ_B setelah pembebanan yaitu 1554,02 nm. Nilai pergeseran panjang gelombang ($\Delta\lambda$) tersebut sebesar 3,42 nm. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh pembebanan terhadap defleksi material uji rubber. Fenomena defleksi mengakibatkan adanya pergeseran panjang gelombang pada fiber optik FBG yang tertanam dalam material uji. Oleh karena itu, metode pembebanan pada material uji rubber dapat digunakan sebagai aplikasi desain sensor FBG.

Kata kunci: Pembebanan, Sensor, Fiber Bragg Grating (FBG), Panjang gelombang, dan Defleksi.

ABSTRACT

Fiber optic sensors offer a high-performance alternative as they provide a low-cost solution, resistance to electromagnetic interference, multiplexing capability, and high integration. The performance of fiber optic sensors is applicable for measuring physical parameters such as pressure and temperature [1]. Currently, many fibers optic FBG sensors have been developed that take advantage of changes in wavelength due to loading. This loading causes a deflection phenomenon in the test material. The working principle of the FBG sensor is measuring the reflection of the Bragg wavelength [2].

The purpose of this study is to analyze the loading of the shift in the wavelength of light on the FBG optical fiber. The method used is the loading of the rubber test material. The loading value used in this study is 10 kg. The loading is carried out from the top surface of the rubber test material, with dimensions of 246 mm x 19 mm x 7 mm. FBG optical fiber is planted in the middle of the rubber material horizontally. The existence of this loading affects the deflection of the material, resulting in a shift in the reflection of the wavelength of light on the FBG optical fiber.

The light source used is a laser with a wavelength range of 1510 nm – 1590 nm. Wavelength shifts when loading detected by a series of FBG fiber optic sensors connected to a computer.

The results showed that there was a shift in wavelength at 10 kg loading. The value of the Bragg wavelength (λ_B) before loading was 1550.6 nm, while the value after loading was 1554.02 nm. The wavelength shift value ($\Delta\lambda$) is 3.42 nm. This shows that there is an effect of loading on the deflection of the rubber test material. The deflection phenomenon causes a wavelength shift in the FBG optical fiber embedded in the test material. Therefore, the loading method on the rubber test material can be used as an application for the FBG sensor design.

Keywords: Loading, Sensor, Fiber Bragg Grating (FBG), Wavelength, and Deflection,

1. PENDAHULUAN

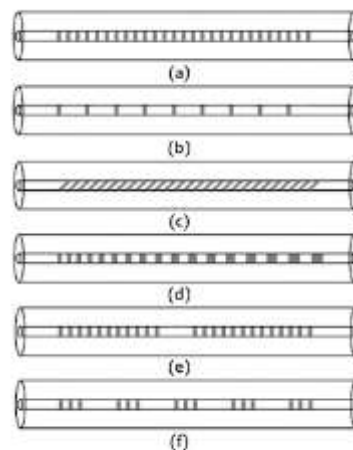
Fiber Bragg Grating (FBG) merupakan fiber / serat optik yang memiliki variasi indeks bias pada intinya. Prinsip kerja FBG ialah dengan menggunakan pemantulan Fresnel. Definisi dari pemantulan Fresnel adalah cahaya merambat pada media antarmuka yang memiliki indeks bias berbeda, berkas cahaya dipantulkan sedangkan berkas cahaya yang lain diteruskan [1]. Saat sumber cahaya laser dihubungkan dengan serat FBG maka kisi difraksi FBG memantulkan cahaya dengan bandwidth yang sangat sempit [2].

FBG dapat memantulkan panjang gelombang tertentu dan mentransmisikan gelombang lain karena terdapat kisi / grating di dalam bagian inti seratnya. Kisi tersebut memiliki pola jarak yang periodik. Saat cahaya mengenai kisi tersebut maka terjadi hamburan yang disebut dengan efek Bragg. Panjang gelombang Bragg (λ_B) bergantung pada periode kisi (Λ) dan indeks bias efektif (n_{eff}). Hal ini secara matematis dirumuskan sebagai berikut [3]:

$$\lambda_B = 2n_{eff} \Lambda \quad (1)$$

Sensor FBG sering diaplikasikan pada pengukuran parameter berat, getaran, dan temperature [4,5]. Sensor FBG juga sering digunakan pada aplikasi monitoring kesehatan [6]. Keuntungan menggunakan sensor FBG ialah akurasi dan sensitivitasnya tinggi, multipleksing, pengukuran dilakukan secara real time, loss cahaya rendah, waktu respon yang cepat, dan tidak terpengaruh oleh medan elektromagnetik [7]. FBG dapat digunakan sebagai sensor Ketika perubahan parameter fisis dapat menggeser Panjang gelombang Bragg ($\Delta\lambda_B$) [8].

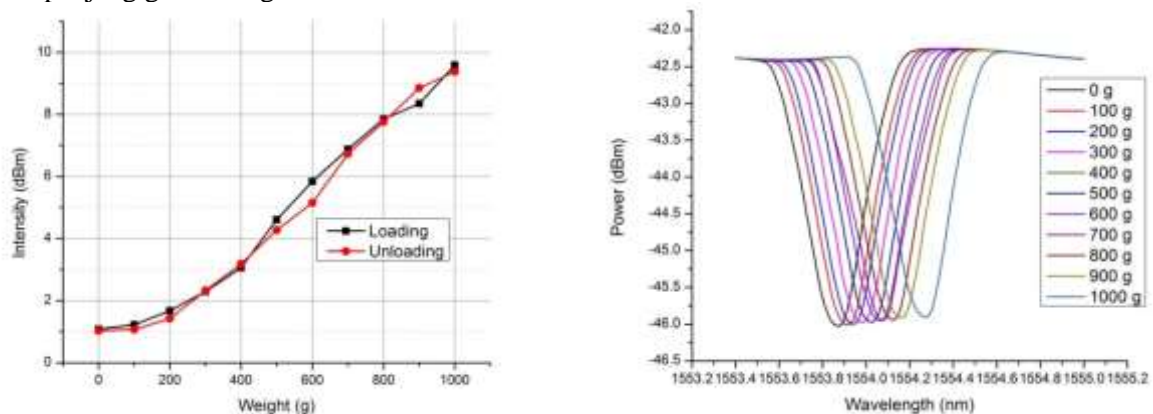
FBG menggunakan mode satu mode cahaya (single mode). Hal ini karena FBG memiliki inti core yang sangat kecil, yaitu 4 – 9 μm . FBG adalah serat optik dengan indeks bias yang berubah secara periodik akibat adanya kisi (grating) yang diletakkan pada jarak tertentu. Pada umumnya, fabrikasi FBG terbuat dari unsur germanium. Hal ini karena FBG bersifat fotosensitif, yaitu indeks bias dari inti dapat berubah dengan pemaparan sinar ultraviolet (UV) yang besar. Panjang gelombang UV yang digunakan untuk memfabrikasi FBG adalah 248 nm (laser KrF) dan 193 nm (laser ArF) [9].



Gambar 1. Jenis-jenis FBG Berdasarkan Struktur Kisinya:
(a) Uniform (b) Long Period (c) Tilted (d) Chirped (e) Phase Shifted (f) Superstructure

FBG dapat memantulkan Panjang gelombang tertentu dan mentransmisikan gelombang lain karena terdapat kisi / grating di dalam bagian inti seratnya. Kisi tersebut memiliki pola jarak yang periodic. Saat cahaya mengenai kisi tersebut maka terjadi hamburan yang disebut dengan efek Bragg [10].

Penelitian ini menggunakan metode pembebanan. Penelitian sejenis telah dilakukan oleh Andi Setiono tahun 2016, hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai beban yang diberikan terhadap FBG, maka nilai loss cahayanya semakin besar. Selain hal itu, data penelitian juga menunjukkan adanya pergeseran panjang gelombang saat beban.



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara: (a) Beban dan Intensitas Cahya; (b) Panjang Gelombang dan Daya [11]

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).

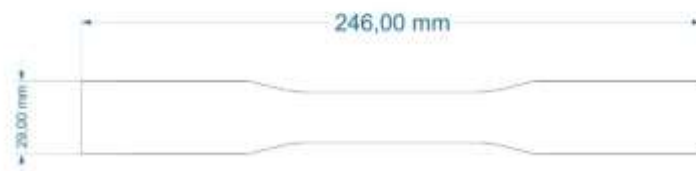
Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu laser dioda sebagai sumber cahaya, *Fiber coupler* sebagai pembagi cahaya, konektor untuk menghubungkan perangkat sistem

optik, fotodiode sebagai pendeteksi luaran cahaya FBG, dan komputer untuk pendeteksian data secara real time. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu fiber optik FBG dan *silicone rubber*.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Penelitian ini meliputi tiga tahapan utama. Tahap pertama yaitu mempersiapkan segala alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian. Tahapan yang kedua yaitu set up rangkaian alat sensor serat optik. Tahapan selanjutnya adalah pengujian tekanan pada material rubber yang terdapat serat optik FBG. Tekanan ini merupakan salah satu bentuk dari makrobending. Makrobending merupakan hilangnya intensitas cahaya karena pembengkokan, ketika cahaya melalui serat optik dengan jari – jari kelengkungan lebih besar dibandingkan dengan jari - jari serat optik.

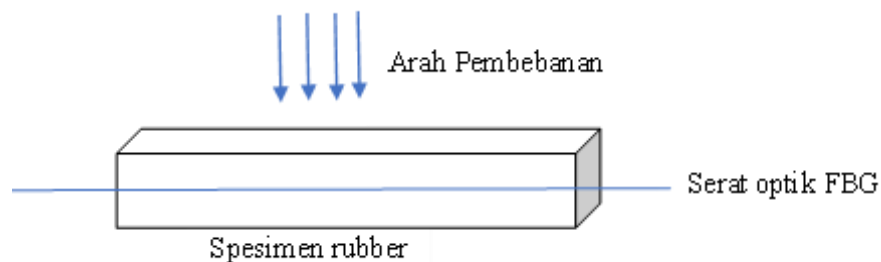
Pengambilan data digunakan untuk menentukan pengaruh tekanan pada serat optik terhadap atenuasi pada serat optik. Dengan adanya pengaruh tekanan tersebut maka dapat diketahui karakteristik pergeseran panjang gelombang di dalam serat optik FBG.

Dimensi dari spesimen yaitu 246 mm x 29 mm x 7 mm. Fabrikasi spesimen uji berdasarkan STM D638-14 tentang pengujian pada spesimen rubber.



Gambar 3. Dimensi Spesimen Tampang Atas

Serat optik FBG diletakkan di tengah-tengah spesimen secara horizontal. Terletak pada ketinggian 3,5 mm dari permukaan atas dan bawah spesimen rubber. Kisi serat optik FBG diletakkan di pusat spesimen. Hal ini karena saat pembebanan berlangsung, arah penekanannya berasal dari atas dan tengah permukaan spesimen rubber. Nilai beban yang digunakan pada penelitian adalah 10 kg.



Gambar 4. Arah Pembebanan Spesimen Rubber

Metodologi pengujian pada penelitian ini yaitu sumber cahaya laser dengan panjang gelombang 1510 nm – 1590 nm terhubung ke salah satu ujung serat optik FBG melalui konektor. Serat optik FBG yang ditanam di dalam spesimen rubber dikenai beban 10 kg. Saat terjadi pembebanan maka ada defleksi material yang mengakibatkan loss cahaya dan pergeseran Panjang gelombang serat optik FBG. Perubahan nilai dari kedua hal tersebut dapat dideteksi secara real time dengan menggunakan *Optical Spectrum Analyzer* (OSA) yang terhubung dengan komputer. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan penelitian sejenis lainnya.

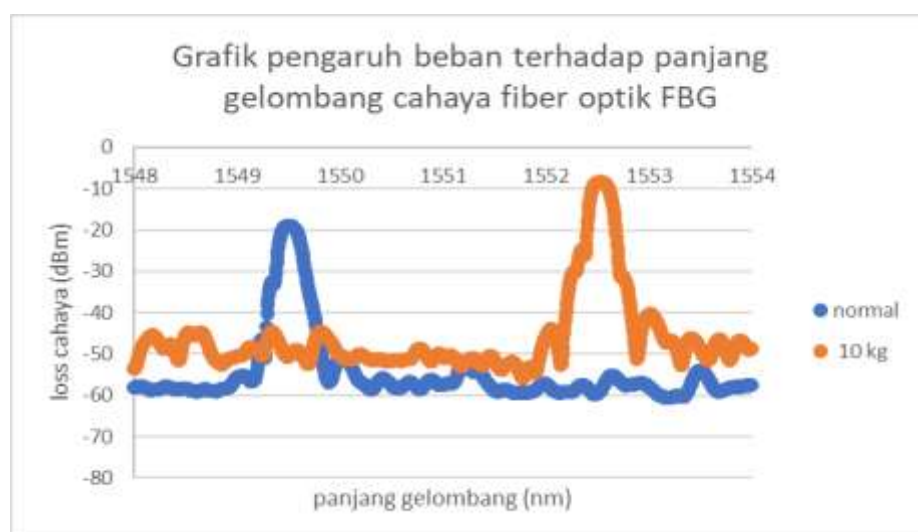
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini digunakan sistem pembengkokan (*bending*) pada serat optik FBG. Pembengkokan serat optik berasal dari pembebanan beban timbangan 10 kg. Tekanan yang diberikan tidak secara langsung mengenai serat optik FBG, akan tetapi mengenai permukaan bagian atas spesimen uji. 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. Selain hal itu penekanan juga mengakibatkan adanya pergeseran panjang gelombang cahaya pada serat optik FBG.

Sistem penelitian dengan memanfaatkan pergeseran panjang gelombang cahaya untuk sistem sensor fiber bragg grating. Pergeseran panjang gelombang tersebut karena adanya perlakuan tekanan yang berasal dari beban timbangan. Pada penelitian ini digunakan pembebanan 10 kg. Pembebanan tersebut diujikan pada material rubber dengan dimensi 246 mm x 29 mm x 7 mm. Prinsip kerja pembebanan material uji yaitu memberikan beban timbangan terhadap spesimen rubber hingga spesimen tersebut mengalami pembengkokan. Spesimen rubber yang bengkok mengakibatkan bending pada serat optik FBG.

Pembebanan spesimen rubber mengakibatkan pembengkokan pada serat optik FBG. Pembengkokan tersebut terjadi karena adanya gaya tekan yang mengarah ke tengah spesimen rubber. Letak serat optik FBG berada di tengah-tengah spesimen dengan posisi horisontal. Oleh karena itu, serat optik akan mengalami gangguan ketika adanya gaya tekan yang diberikan beban terhadap spesimen rubber. Gangguan tersebut mengakibatkan transmisi cahaya pada *core* serat optik FBG tidak bisa terpantul sempurna. Serat optik FBG hanya mentransmisikan satu mode cahaya. Tempat jalannya transmisi cahaya serat optik berada di *core*. Saat pertengahan spesimen rubber mulai melengkung maka akan terjadi pergeseran nilai panjang gelombang cahaya. Hal ini karena *core* serat optik FBG tersebut diberikan gaya tekan (*pressure force*).

Pengujian beban dilakukan secara statis terhadap spesimen uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya pembebanan maka nilai loss cahayanya berubah semakin besar. Jika loss cahaya semakin besar maka kemampuan serat optik FBG dalam mentransmisikan panjang gelombang cahaya semakin bergeser ke arah yang lebih besar.



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Panjang Gelombang dengan Loss Cahaya Sebelum dan Sesudah Pembebanan 10 kg

Gambar 5. mengindikasikan bahwa adanya pembebanan mengakibatkan puncak panjang gelombang cahaya pada kisi serat optik semakin bergeser ke arah kanan. Atau dengan kata lain, ada penambahan nilai panjang gelombang ketika spesimen rubber diberi penambahan beban timbangan.

Pemberian beban pada spesimen yang terdapat serat optik FBG menyebabkan sudut bias serat optik kurang dari 90° . Pada saat sudut bias kurang dari 90° maka tidak terjadi pemantulan sempurna. Hal ini berarti ada cahaya yang hilang dari *core* serat optik sehingga terjadi penurunan intensitas cahaya. FBG adalah serat optik dengan indeks bias yang berubah secara periodik akibat kisi (*grating*) yang diletakkan dengan jarak tertentu. Pada saat serat optik FBG diberi pembebanan maka terjadi pemantulan panjang gelombang Bragg. Nilai panjang gelombang tersebut berubah lebih besar dari sebelum diberi pembebanan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada pergeseran panjang gelombang pada pembebanan 10 kg. Nilai panjang gelombang Bragg (λ_B) sebelum diberi pembebanan ialah 1550,6 nm, sedangkan nilai λ_B setelah pembebanan yaitu 1554,02 nm. Nilai pergeseran panjang gelombang ($\Delta\lambda$) tersebut sebesar 3,42 nm. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh pembebanan terhadap defleksi material uji rubber. Fenomena defleksi mengakibatkan adanya pergeseran panjang gelombang pada fiber optik FBG yang tertanam dalam material uji. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Setiono tahun 2016, yaitu adanya pembebanan pada serat optik FBG mengakibatkan adanya pergeseran panjang gelombang cahaya Bragg. Oleh karena itu, metode pembebanan pada material uji rubber dapat digunakan sebagai aplikasi desain sensor FBG.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu adanya pengaruh pembebanan terhadap panjang gelombang Bragg pada serat optik FBG. Nilai panjang gelombang Bragg (λ_B) sebelum diberi pembebanan ialah 1550,6 nm, sedangkan nilai λ_B setelah pembebanan yaitu 1554,02 nm. Nilai pergeseran panjang gelombang ($\Delta\lambda$) tersebut sebesar 3,42 nm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih pada Bapak Dwi Hanto, Peneliti Optik, Badan Riset dan Inovasi Nasional dan Muhammad asisten peneliti Fisika Optik, UNS yang telah membantu riset ini hingga selesai. Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan beliau sekalian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Kinet, P. Mégret, K.W. Goossen, L. Qiu, D. Heider, and C. Caucheteur, *Fiber Bragg grating sensors toward structural health monitoring in composite materials: challenges and solutions*, *Sensors*, vol. 14, pp. 7394-7419, 2014.
- [2] M. B. El-Mashade, *Analysis of Weak and Strong Fiber Bragg Grating*. *British Journal of Applied Science & Technology* 6, pp: 1-17, 2015.
- [3] Zheng, S., Ghandehari, M., Ou, J., *Photonic crystal fiber long-period grating absorption gas sensor based on a tunable erbium-doped fiber ring laser*. *Sens. Actuators B Chem*, pp: 324–332, 2016.

- [4] L. Chen, X. Bao, J. Song, W. Li, P. Lu, and Y. Xu, *Long-range high spatial resolution distributed temperature and strain sensing based on optical frequency-domain reflectometry*, *IEEE Photon. J.*, vol. 6, no. 3, Jun. 2014.
- [5] C. S. Shin and C. Chiang, *Deformation monitoring by using optical fiber grating sensor*, *J. Chin. Inst. Eng.*, vol. 28, no. 6, pp. 985–992, 2005.
- [6] Y. Tanaka and H. Miyasawa, *Multipoint fiber Bragg grating sensing using two-photon absorption process in silicon avalanche photodiode*, *J. Lightw. Technol.*, vol. 36, no. 4, pp. 1032–1038, Feb. 15, 2018.
- [7] A. Barrias, J. R. Casas, and S. Villalba, *A review of distributed optical fiber sensors for civil engineering applications*, *Sensors*, vol. 16, no. 748, pp. 1–35, 2016.
- [8] S. Moon and E. S. Choi, *VCSEL-based swept source for low-cost optical coherence tomography*, *Biomed. Opt. Express*, vol. 8, no. 2, pp. 19712–19723, 2017.
- [9] B. Das and V. Chandra, *Fiber-MZI-based FBG sensor interrogation: Comparative study with a CCD spectrometer*, *Appl. Opt.*, vol. 55, no. 29, pp. 8287–8292, 2016.
- [10] M. Nishio, *Quality evaluation of fiber-optic strain data acquired in longterm bridge monitoring*, *Sensors Mater.*, vol. 29, no. 2, pp. 141–152, 2017.
- [11] Setiono, A., Kurniawan, E., Khasanah, F., *Analysis of FBG Weight Sensor Based on Laser Diode Transitive Response*, *International Seminar on Sensors, Instrumentation, Measurement and Metrology (ISSIMM)*, pp: 53-56, August 2016.