

Perancangan Sensor Suhumenggunakan Metode Interpolasi Lagrange Berbasis Serat Optik Berstruktur Sms (Singlemode-Multimode-Singlemode)

Aslam Chitami Priawan Siregar¹,
Danang Haryo Sulaksono²
^{1,2}Jurusan Teknik Informatika

Fakultas Teknologi Informasi Institut
Teknologi Adhi Tama Surabaya
aslam.chitami@itats.ac.id

Abstrak — . Pada penelitian ini dikembangkan suatu teknik pengukuran suhu menggunakan serat optik berstruktur SMS dan OTDR. Dimana pada Serat optik berstruktur singlemode-multimode-singlemode (SMS) dan Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) telah banyak digunakan untuk berbagai sensor dalam mendeteksi kerusakan bangunan lebih dini. Setelah itu, dilakukan penghitungan dengan metode Interpolasi Lagrange berbasis Borland Delphi 7. Karakteristik dari setiap sensor serat optik berstruktur SMS yang telah dibuat menggunakan serat optik multimode dengan panjang 5,5 cm, 6 cm, 6,5 cm, dan 7 cm serta dengan penggunaan panjang gelombang operasinya, yaitu 1310 nm. Pengujian ragesuhusebesar 37oC – 67oC dengan setiap kenaikan suhu sebesar 10oC. Berdasarkan hasil penelitian, panjang multimode 5,5 cm terjadi grafik kenaikan dengan R2 sebesar 93,7%. Semakin bertambahnya suhu, maka rugi daya yang ditimbulkan semakin besar. Sedangkan panjang multimode 6 cm, 6,5 cm, dan 7 cm menunjukkan bahwa terjadi grafik penurunan, untuk panjang multimode 6 cm dengan R2 sebesar 97,7%, untuk panjang multimode 6,5 cm dengan R2 sebesar 99,7%, untuk panjang multimode 7 cm dengan R2 sebesar 99,2%. Sedangkan berdasarkan hasil penghitungan dengan metode Interpolasi Lagrange untuk sensor suhuberstruktur SMS berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode Interpolasi Lagrange dengan panjang multimode yang berbeda-beda mempunyai keteraturan data yang hampir sama dibandingkan sensor suhu berstruktur SMS berdasarkan hasil pengukuran. Contohnya, seperti pada panjang multimode 7 cm menghasilkan R2 sebesar 99,2% untuk hasil pengukuran dan menghasilkan R2 sebesar 99,3% untuk hasil perhitungan.

Abstract - In this research, a temperature measurement technique was developed using fiber optic structured SMS and OTDR. Where in optical fibers singlemode-multimode-singlemode (SMS) and Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) has been widely used for various sensors in detecting damage to the building earlier. Thereafter, calculations are performed using Borland Delphi's Lagrange Interpolation method 7. Characteristics of each of the fiber-optic fiber sensor structures that have been fabricated using multimode optical fibers with lengths of 5.5 cm, 6 cm, 6.5 cm and 7 cm and with use its operating wavelength is 1310 nm. Testing ragesuhusebesar 37oC - 67oC with every temperature rise of 10oC. Berdasarkan research results, multimode length 5.5 cm there is a graph increase with R2 of 93.7%. The increase in temperature, the loss of power generated greater. While the multimode length 6 cm, 6.5 cm, and 7 cm indicate that there is a decrease graph, for multimode length 6 cm with R2 equal to 97,7%, for multimode

length 6,5 cm with R2 equal to 99,7%, for long multimode 7 cm with R2 99.2%. While based on result of calculation by Lagrange Interpolation method for suhuberstruktur SMS sensor based on result of calculation using Lagrange Interpolation method with different multimode length have same data regularity compared to temperature sensor structured SMS based on measurement result. For example, as long as 7 cm long multimode yield R2 of 99.2% for the measurement result and yield R2 of 99.3% for the calculation result.

Keywords—: *Fiber Optic SMS; OTDR; Temperatur; Interpolasi Lagrange.*

I. PENDAHULUAN

T Suhu merupakan besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu material yang dapat mempengaruhi perubahan bentuk atau volume dari material tersebut. Sensor serat optik peka terhadap pengaruh suhu lingkungan [4]. Serat optik digunakan karena memiliki berbagai keunggulan yaitu karena ukurannya yang kecil, dapat melewati cahaya, tahan terhadap interferensi elektromagnetik (EMI), pasif secara kimiawi, bandwidth yang lebar, sensitivitas yang tinggi, tidak terkontaminasi lingkungan, dan kemampuannya sebagai sensor terdistribusi maupun multipoint [2].

Beberapa teknik pengukuran suhu dengan menggunakan serat optik berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS), telah digunakan teknik pengukuran pergeseran panjang gelombang akibat pemberian suhu menggunakan Optical Spectrum Analyzer (OSA), dan teknik pengukuran intensitas menggunakan optical power meter [3]. Akan tetapi, teknik tersebut hanya dapat digunakan untuk mengukur suhu pada satu titik saja. Padahal dalam sistem monitor struktur bangunan diperlukan pengukuran suhu pada banyak titik (multipoint). Teknik ini berpotensi untuk mengukur suhu pada beberapa titik.

Agar dapat mengetahui sembarang nilai pada rugi daya sensor serat optik berstruktur SMS akibat pengukuran suhu dalam rentang tertentu, maka dibutuhkan suatu metode interpolasi. Metode interpolasi yang digunakan pada pengukuran ini adalah Interpolasi Lagrange. Interpolasi Lagrange digunakan karena bersifat aplikatif untuk kasus equispaced (selisih input pengukuran konstan) maupun non-equispaced (selisih input pengukuran tidak konstan). Untuk menghitung Interpolasi Lagrange digunakan program berbasis borland delphi 7.

Dengan adanya nilai rugi daya tertentu yang terbaca pada OTDR yang disebabkan oleh pengaruh suhu pada serat optik berstruktur SMS kita dapat mendeteksi keretakan suatu bangunan lebih dini akibat pengaruh suhu, sehingga suatu bangunan dapat ditangani lebih dini sebelum terjadi kerusakan yang lebih parah. Dengan adanya metode pengukuran ini, diharapkan dapat digunakan untuk pengukuran suhu dengan biaya yang lebih murah serta adanya kemudahan fabrikasinya, sehingga dapat mempunyai nilai pemanfaatan yang lebih tinggi.

Dalam penelitian ini, dibuat sebuah sensor suhu yang berbasis serat optik berstruktur SMS yang dapat digunakan pada suatu sistem monitor struktur bangunan.

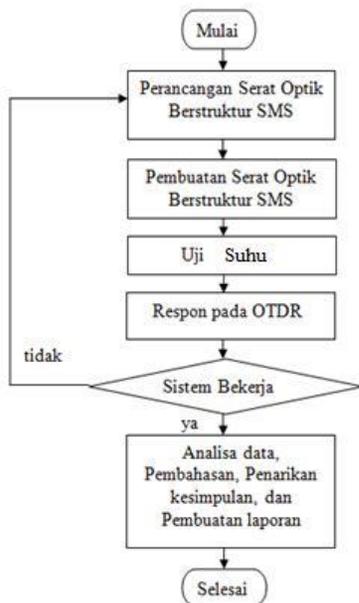
II. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah Serat optik singlemodestep index (ITU-T Recommendation G652), multimodegraded index (ITU-T Recommendation G651), lem alteco, dan empat buah lampu 5 W. Sedangkan alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah FusionSplicer Fujikura FSM-505), Microdisplacement, HP E6000A Mini –OTDR, Fiber Cleaver FITEL Nc S324, Fiber Stripper Cromwell ct USA, termometer digital, dan jangka sorong digital.

2.2 Langkah-langkah Penelitian

Berikut ini merupakan langkah-langkah penelitian yang digambarkan dalam bentuk diagram flowchart:



Gambar 2.1. Flowchart Penelitian

Perancangan pada serat optik berstruktur SMS diawali dari mempersiapkan dua jenis yang sama serat optik singlemode. Dari dua jenis serat optik singlemode tersebut

akan dihubungkan dengan serat optik multimode dengan variasi panjang tertentu.

Pembuatan serat optik berstruktur SMS dilakukan dengan cara menyambungkan kedua ujung serat optik multimode dengan serat optik singlemode. Pada ujung serat optik yang akan disambung, dilakukan pengkupasannya dengan menggunakan Fiber Stripper Cromwell ct USA pada lapisan cladding. Kemudian lapisan serat optik yang telah terkupas dibersihkan dengan menggunakan larutan alkohol, agar sisa hasil pengkupasannya tidak mengganggu saat proses penyambungan. Lapisan serat optik yang telah dibersihkan, akan dilakukan pemotongan dengan menggunakan Fiber Cleaver FITEL Nc S324, agar ujung serat optik menjadi rapi dan tidak terjadi misalignment aksial saat penyambungan serat optik singlemode dan multimode. Setelah itu, antara dua ujung serat optik (baik Singlemode maupun Multimode) akan dilakukan penyambungan dengan menggunakan FusionSplicer Fujikura FSM-505. Kedua ujung serat optik akan terlihat pada layar yang ditampilkan oleh FusionSplicer Fujikura FSM-505 dalam skala mikroskopis. Apabila ujung serat optik rapi dan sesuai dengan batas range yang telah ditentukan, maka penyambungan dapat dilakukan dengan baik dan akan diperoleh hasil yang lebih baik. Bentuk serat optik berstruktur SMS diperlihatkan pada Gambar 3.2.



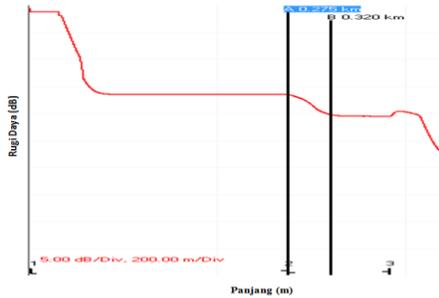
Gambar 2.2. Serat optik berstruktur SMS (Single mode– Multimode–Single mode)

Setelah itu, dilakukan pengujian suhu pada serat optik yang berstruktur SMS. Uji suhu dilakukan dengan memberikan suhu pada daerah serat optik yang berstruktur SMS yang kedua ujungnya direkatkan pada microdisplacement dan statif dengan menggunakan lem alteco dengan pengujian rangesuhu sebesar 37°C – 67°C dengan setiap kenaikan suhu sebesar 10°C.

Setelah itu, dilakukan pengambilan data respon dan rugi daya yang terbaca pada OTDR. Apabila terbaca data respon pada OTDR maka dilakukan analisa data. Apabila tidak terbaca data respon pada OTDR maka harus di set-up ulang alat-alat penelitian yang sudah dibuat. Rugi daya yang dianalisa pada penelitian ini adalah rugi daya dari serat optik berstruktur SMS. Sedangkan parameter-parameter pengukuran OTDR yang digunakan dalam pengukuran ini dipilih sebagai berikut :

OTDR Type	: Agilent Mini OTDR E6000C
Wavelength	: 1314 nm
Pulsewidth	: 300 ns
Range	: 0-2 km
Marking	: A = 275,0 m B = 320,8 km
	B-A = 45.8 m

Optimize : Dynamic
 Averaging Time : 10 s
 Sampling Distance : 15,90 cm
 index of refraction : 1,47180



Gambar 2.3.Bentuk Tampilan pada OTDR

Setelah dilakukan pengambilan data respon dan rugi daya yang terbaca pada OTDR, maka dilakukan analisa data yang diperoleh dari OTDR, pembahasan selama proses melakukan penelitian dan segala jenis kendalanya, penarikan kesimpulan, dan pembuatan laporan.

2.3 Metode Analisa Data

Data hasil penelitian berupa rugi daya ditimbulkan akibat adanya suhuyang terjadi pada serat optik yang terbaca pada OTDR, maka dapat digunakan persamaan Interpolasi Lagrange sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 f(x_2) = & \frac{(x - x_1)(x - x_2)(x - x_3) \dots (x - x_n)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)(x_0 - x_3) \dots (x_0 - x_n)} \cdot f_0 \\
 & + \frac{(x - x_0)(x - x_2)(x - x_3) \dots (x - x_n)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)(x_1 - x_3) \dots (x_1 - x_n)} \cdot f_1 \\
 & + \dots \\
 & + \frac{(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2) \dots (x - x_{n-1})}{(x_n - x_1)(x_n - x_2)(x_n - x_3) \dots (x_n - x_{n-1})} \cdot f_n
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Dimana x adalah nilai sembarang suhu dalam rentang $37^{\circ}\text{C} - 67^{\circ}\text{C}$, $f(x)$ adalah nilai rugi dayayang di timbulkan pada serat optik SMS pada x tertentu, $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ adalah nilai hasil pengukuran suhu pada serat optik berstruktur SMS dari suhu ke-0, suhu ke-1, suhu ke-2, sampai suhu ke-n, dan $f_0, f_1, f_2, \dots, f_n$ adalah nilai hasil rugi daya yang terbaca pada OTDR akibat pengaruh suhu dari suhu ke-0, suhu ke-1, suhu ke-2, sampai suhu ke-n. Untuk bahasa pemograman yang menggunakan Borland Delphi 7 adalah sebagai berikut :

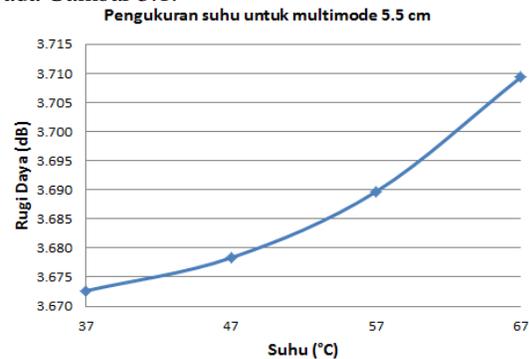
```

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var
i,j,n:integer;L,Xinput,Ydata,atas,bawah:real;
begin
Memo1.Clear;L:=0;n:=StrToInt(Edit1.Text);Xinput:=StrToFloat(Edit2.Text);
for i:=0 to n-1 do
begin
atas:=1;bawah:=1;
Ydata:=StrToFloat(StringGrid1.Cells[i+1,2]);
for j:=0 to n-1 do
begin
if j<>i then
begin
atas:=atas*(Xinput-StrToFloat(StringGrid1.Cells[j+1,1]));
bawah:=bawah*(StrToFloat(StringGrid1.Cells[i+1,1))-StrToFloat(StringGrid1.Cells[j+1,1]));end; end;
Memo1.Lines.Add('Y'+IntToStr(i)+' = '+FloatToStr(Ydata));
Memo1.Lines.Add('atas'+IntToStr(i)+' = '+FloatToStr(atas));
Memo1.Lines.Add('bawah'+IntToStr(i)+' = '+FloatToStr(bawah));
L:=L+(Ydata*atas/bawah); end;

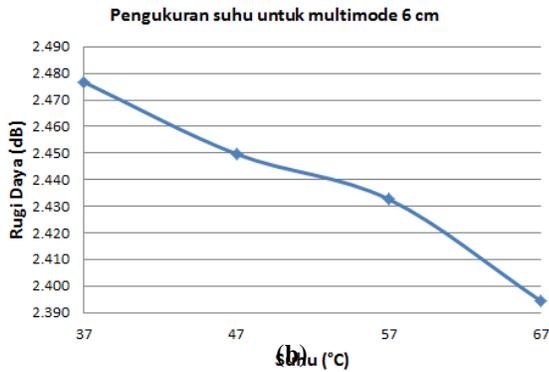
```

1. Hasil dan Pembahasan

Hubungan rugi daya pada serat optik berstruktur SMS sebagai sensor suhudegan panjang serat optik multimode 5,5 cm dan 6 cm pada panjang gelombang 1310 nm diperlihatkan pada Gambar 3.1.

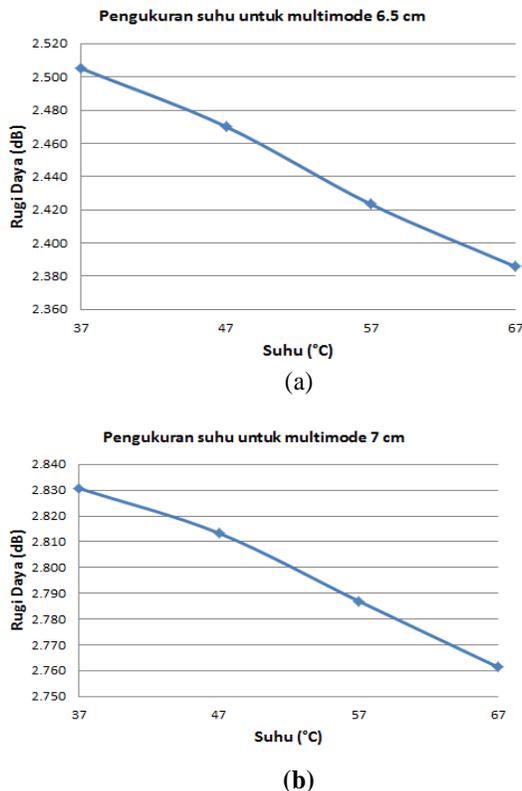


(a)



Gambar 3.1. Grafik hubungan rugi daya pada serat optik berstruktur SMS sebagai sensor suhu pada panjang gelombang 1310 nm pada panjang serat optik multimode (a) 5,5 cm dan (b) 6 cm.

Sedangkan Hubungan rugi daya pada serat optik berstruktur SMS sebagai sensor suhu dengan panjang serat optik multimode 6,5 cm dan 7 cm pada panjang gelombang 1310 nm diperlihatkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2. Grafik hubungan rugi daya pada serat optik berstruktur SMS sebagai sensor suhu pada panjang gelombang 1310 nm pada panjang serat optik multimode (a) 6,5 cm dan (b) 7 cm.

Berdasarkan Gambar 3.1, menunjukkan bahwa pada panjang multimode 5,5 cm terjadi grafik kenaikan dengan R^2 sebesar 93,7%. Semakin bertambahnya suhu, maka rugi daya yang ditimbulkan semakin besar. Sedangkan pada Gambar 3.2, panjang multimode 6 cm, 6,5 cm, dan 7 cm menunjukkan bahwa terjadi grafik penurunan. Semakin bertambahnya suhu, maka rugi daya yang ditimbulkan semakin mengecil. Untuk panjang multimode 6 cm dengan R^2 sebesar 97,7%, untuk panjang multimode 6,5 cm dengan R^2 sebesar 99,7%, untuk panjang multimode 7 cm dengan R^2 sebesar 99,2%. Perbedaan grafik seperti ini, dikarenakan adanya titik *re-imaging* pada panjang multimode tertentu. Besarnya titik *re-imaging* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut [5] :

$$\bar{L}_Z = 16n_{co} \alpha^2 / \lambda \tag{3.1}$$

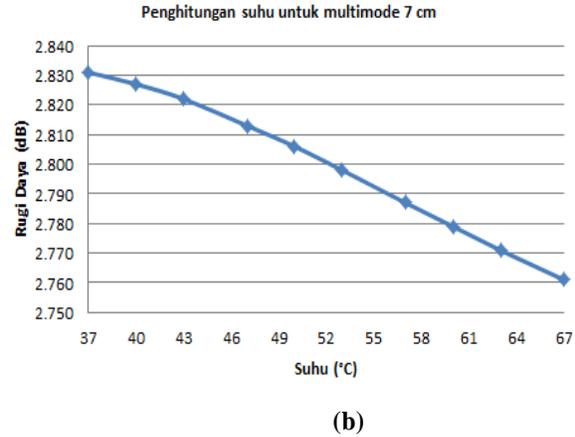
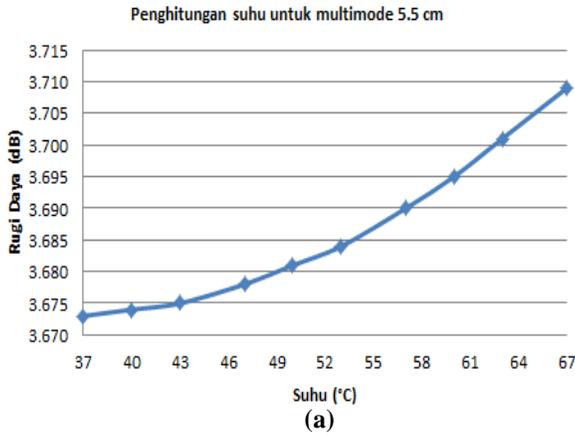
Dimana \bar{L}_Z merupakan ukuran panjang multimode yang mengalami titik *re-imaging*, n_{co} merupakan besarnya nilai indeks bias pada lapisan *core* dari serat optik yang berstruktur multimode dalam hal ini besarnya adalah 1.445, α merupakan besarnya jari-jari pada lapisan *core* dari serat optik multimode 62,5 μm , dan λ merupakan panjang gelombang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebesar 1310 nm, nilai panjang gelombang tersebut digunakan karena memiliki rugi daya yang kecil untuk jenis bahan silika yang merupakan bahan dari serat optik. Berdasarkan nilai-nilai di atas, didapatkan bahwa besarnya titik *re-imaging* pada jenis serat optik multimode yang digunakan dalam penelitian ini adalah 6,89 cm. Dimana pada titik ini terjadi interferensi minimum terhadap banyaknya moda yang dilewatkan pada serat optik multimode tersebut, sehingga dapat menyebabkan penurunan pada rugi daya serat optik.

Perbedaan antara grafik pada panjang multimode 7 cm dengan 6 cm dan 6,5 cm terletak pada besarnya rugi daya yang ditimbulkannya. Pada panjang multimode 7 cm mempunyai rugi daya yang lebih besar daripada panjang multimode 6 cm dan 6,5 cm. Hal ini disebabkan karena adanya penurunan intensitas pada panjang multimode 6 cm dan 6,5 cm sampai menuju titik *re-imaging* pada panjang 6,89 cm.

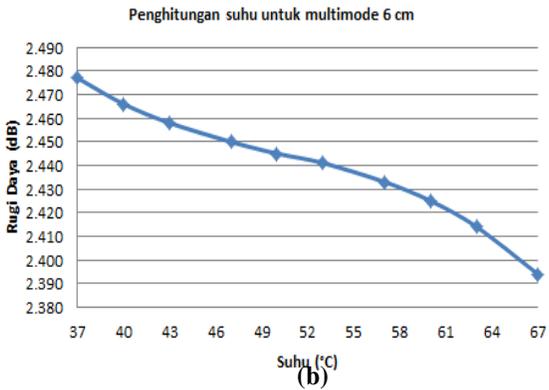
Berdasarkan Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 semua pengukuran dapat digunakan sebagai sensor suhu. Akan tetapi, daerah yang paling linear terletak pada sensor serat optik berstruktur SMS dengan panjang multimode 6,5 cm dan 7 cm.

Berikut ini ditampilkan suatu grafik hasil perhitungan sensor suhuberstruktur SMS dengan menggunakan metode Interpolasi Lagrange berbasis Borland Delphi 7.

Untuk masing-masing hasil perhitungan sensor suhu berstruktur SMS pada panjang multimode 5,5 cm dan 6 cm dapat ditampilkan pada Gambar 3.3.



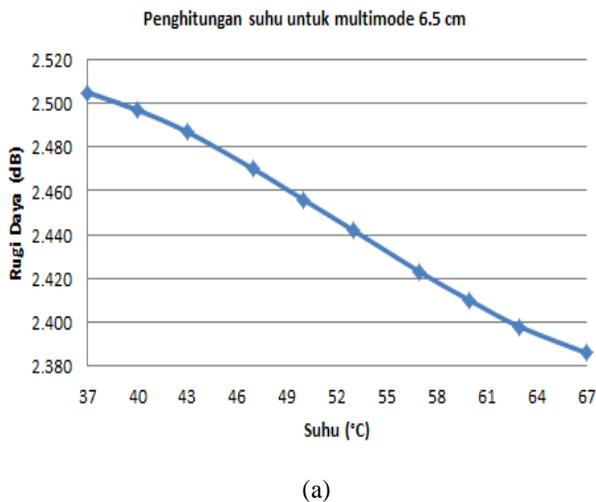
Gambar 3.4. Grafik hubungan rugi daya pada serat optik berstruktur SMS sebagai sensor suhu berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode Interpolasi Lagrange pada panjang serat optik multimode (a) 6,5 cm dan (b) 7 cm.



Gambar 3.3. Grafik hubungan rugi daya pada serat optik berstruktur SMS sebagai sensor suhu berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode Interpolasi Lagrange pada panjang serat optik multimode (a) 5,5 cm dan (b) 6 cm.

Berdasarkan dari Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 di atas, untuk sensor suhu berstruktur SMS berdasarkan hasil perhitungan dengan metode Interpolasi Lagrange untuk sensor suhuberstruktur SMS berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode Interpolasi Lagrange dengan panjang multimode yang berbeda-beda mempunyai keteraturan data yang hampir sama dibandingkan sensor suhu berstruktur SMS berdasarkan hasil pengukuran. Contohnya, seperti pada panjang multimode 7 cm menghasilkan R^2 sebesar 99,2% untuk hasil pengukuran dan menghasilkan R^2 sebesar 99,3% untuk hasil perhitungan. Hal ini dikarenakan input suhu yang diberikan pada sensor serat optik berstruktur SMS sangat sedikit, sehingga penyimpangan *error* menjadi sangat sedikit pula, seperti pada panjang multimode 7 cm penyimpangan *error* yang dihasilkan hanya 0,1 %. Berbeda dengan penelitian sebelumnya [1], input yang diberikan lebih dari 10 data, sehingga penyimpangan grafik berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode Interpolasi Lagrange menjadi lebih besar dari grafik berdasarkan hasil pengukuran.

Sedangkan untuk masing-masing hasil perhitungan sensor suhuberstruktur SMS pada panjang multimode 6,5 cm dan 7 cm dapat ditampilkan pada pada Gambar 3.4



4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian, pengamatan, serta hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Panjang multimode 5,5 cm terjadi grafik kenaikan terjadi grafik kenaikan dengan R^2 sebesar 93,7%. Semakin bertambahnya suhu, maka rugi daya yang ditimbulkan semakin besar. Semakin bertambahnya suhu, maka rugi daya yang ditimbulkan semakin besar. Sedangkan panjang multimode 6 cm, 6,5 cm, dan 7 cm menunjukkan bahwa terjadi grafik penurunan, untuk panjang multimode 6 cm dengan R^2 sebesar 97,7%, untuk panjang multimode 6,5 cm dengan R^2 sebesar 99,7%, untuk panjang multimode 7 cm dengan R^2 sebesar 99,2%. Sedangkan

panjang multimode 6 cm, 6,5 cm, dan 7 cm menunjukkan bahwa terjadi grafik penurunan. Perbedaan grafik seperti ini, dikarenakan adanya titik *re-imaging* pada panjang multimode 6,89 cm. Dimana pada titik ini terjadi interferensi minimum terhadap banyaknya moda yang dilewatkan pada serat optik multimode tersebut, sehingga dapat menyebabkan penurunan pada rugi daya serat optik.

2. Berdasarkan hasil penghitungan dengan metode Interpolasi Lagrange untuk sensor suhuberstruktur SMS berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode Interpolasi Lagrange dengan panjang multimode yang berbeda-beda mempunyai keteraturan data yang hampir sama dibandingkan sensor suhu berstruktur SMS berdasarkan hasil pengukuran. Contohnya, seperti pada panjang multimode 7 cm menghasilkan R^2 sebesar 99,2% untuk hasil pengukuran dan menghasilkan R^2 sebesar 99,3% untuk hasil perhitungan. Hal ini dikarenakan input suhu yang diberikan pada sensor serat optik berstruktur SMS sangat sedikit, sehingga penyimpangan *error* menjadi sangat sedikit pula, seperti pada panjang multimode 7 cm penyimpangan *error* yang dihasilkan hanya 0,1 %.

4.2 Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik disarankan untuk membuat serat optik berstruktur SMS dengan variasi panjang multimode yang lebih banyak lagi. Agar mudah didapatkan sensor suhu dengan keteraturan data yang lebih baik dari penelitian sebelumnya

V. PUSTAKA

- [1] Chitami P. S., Aslam. 2015. *Rancang bangun sensor strain menggunakan metode interpolasi lagrange berbasis serat optik berstruktur sms (singlemode-multimode-singlemode) dan otdr (optical time domain reflectometer)*. ITN Malang.
- [2] Gholamzadeh, Bahareh and Nabovati, Hooman. 2008. *Fiber Optic Sensors*. World Academy of Science, Engineer. and Technol. 42.
- [3] Hatta, Agus M. et al. 2010. *Strain sensor based on a pair of singlemode-multimode-singlemode fiber structures in a ratiometric power measurement scheme*. Appl. Opt. Vol. 49. No. 3, 536 – 541.
- [4] Li, Enbang. 2007. *Temperature compensation of multimode interference-based fiber devices*. Opt. Lett. Vol. 32, No. 14, 2064 – 2066.
- [5] Wang, Qian, Farrell, Gerald and Yan, Wei. 2008. *Investigation on Singlemode-Multimode-Singlemode Fiber Structure*. J. Lightwave Technol. Vol. 26, No. 5. 512-518.