

INTEGRASI *CHIRPING* DAN APODISASI BAHAN TOPAS UNTUK PENINGKATAN KINERJA SENSOR SERAT KISI BRAGG

Khaikal Ramadhan*, Saktioto

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

*E-mail korespondensi: khaikal.ramadhan4946@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The discovery of the fiber Bragg grating (FBG) is an early milestone in the development of optical fiber technology, such as in optical communication to monitoring of material health structures as sensors. For optical communication the FBG components are capable of filtering certain signals. In the FBG optical sensor has a high sensitivity immune to electromagnetic wave interference, small size and is resistant to extreme environmental conditions. The sensitivity of the FBG sensor is obtained from the shift in the peak wavelength of each of the temperature and strain quantities. However, the performance of the FBG sensor can be improved by engineering the distribution of the refractive index on the grid with the apodization and chirp functions. Apodization is a technique to improve the performance of the FBG sensor by eliminating noise, narrowing the full wave half maximum, lowering the side lobes of the main lobe and improving the spectrum ripple factor. Apart from apodization, the chirp function also affects the sensor sensitivity and the distribution of the refractive index on the grid. Numerical experiments were carried out in designing the FBG component as a sensor using Gaussian apodization and Topaz cyclic olefin copolymer for several chirp functions. The results show that Gaussian apodized topass lattice fibers for all chirp functions as a strain sensor have the same sensitivity, namely $0.84 \text{ pm}/\mu\text{strain}$ while for temperature sensors the highest sensitivity is obtained at cubic root chirp $13.82857 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ followed by square chirp $13.74286 \text{ pm}/^\circ\text{C}$, Quadratic chirp $13.71429 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ and Linear Chirp $13.4 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ the Bragg wavelength shift was greater for 1°C than for the $1 \mu\text{strain}$.

Keywords: Fiber Bragg Grating, Topaz, Gaussian, Apodisasi, Chirp.

ABSTRAK

Penemuan fiber Bragg grating (FBG) merupakan tonggak awal perkembangan teknologi serat optik, seperti pada komunikasi optik hingga pemantauan struktur kesehatan material sebagai sensor. Untuk komunikasi optik komponen FBG mampu memfilter sinyal-sinyal tertentu. Dalam sensor optik FBG memiliki sensitivitas yang tinggi kebal terhadap interferensi gelombang elektromagnetik, ukuran yang kecil dan tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim. Sensitivitas sensor FBG diperoleh dari pergeseran puncak panjang gelombang Bragg tiap besaran suhu dan regangan. Walaupun demikian kinerja sensor FBG dapat ditingkatkan dengan merencanakan distribusi indeks bias pada kisi dengan fungsi apodisasi dan chirp. Apodisasi merupakan salah satu teknik dalam meningkatkan kinerja sensor FBG dengan menghilangkan noise, mempersempit full wave half maximum, menurunkan lobus samping dari lobus utama dan memperbaiki factor riak spektrum. Selain apodisasi fungsi chirp juga berpengaruh terhadap sensitivitas sensor dan distribusi indeks bias pada kisi. Eksperimen numerik dilakukan dalam merancang komponen FBG sebagai sensor dengan menggunakan apodisasi Gaussian dan bahan Topaz cyclic olefin copolymer untuk beberapa fungsi chirp. Diperoleh hasil bahwa FBG Topaz apodisasi Gaussian untuk semua fungsi chirp sebagai sensor regangan memiliki sensitivitas yang sama yaitu $0.84 \text{ pm}/\mu\text{strain}$ sementara untuk sensor suhu diperoleh sensitivitas tertinggi pada cubic root chirp $13,82857 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ diikuti oleh square chirp $13,74286 \text{ pm}/^\circ\text{C}$, Quadratic chirp $13,71429 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ dan Linear Chirp $13,4 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ pergeseran panjang gelombang Bragg lebih besar untuk 1°C daripada untuk $1 \mu\text{strain}$.

Kata kunci: FBG, Topaz, Gaussian, Apodisasi, Chirp.

Diterima 16-04-2021 | Disetujui 26-05-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Penemuan kisi Bragg telah banyak menghasilkan aplikasi yang luar biasa dalam dunia riset dan industri. Aplikasi yang sangat luas tersebut diantaranya komunikasi optik, penginderaan optik, filter data, kompensator dispersi dan pemantauan struktur kesehatan material hingga pengaplikasian dalam dunia medis sebagai biosensor. Dalam bidang komunikasi optik, komponen serat kisi Bragg atau *fiber bragg grating* (FBG) digunakan sebagai kompensator dispersi untuk menghasilkan jangkauan transmisi data yang jauh [1], baik dengan penguat maupun tidak, selain itu juga diaplikasikan sebagai filter optik untuk panjang gelombang yang ditransmisikan akibat dari adanya perubahan kisi secara periodik [2,3], serta add and drop panjang gelombang dalam komunikasi *wavelength division multiplexing* yaitu teknologi yang mampu menggabungkan sejumlah sinyal optik ke satu serat, dengan menggunakan berbagai panjang gelombang dari cahaya atau laser sehingga memungkinkan komunikasi dua arah dalam satu serat pada aplikasi penginderaan atau pemantauan optik [4]. Sensor FBG sensitif terhadap perubahan besaran fisis dan memiliki kinerja yang lebih baik daripada penginderaan konvensional ataupun elektronik. FBG dapat dibangun atas inti serat yang dapat mendeteksi perubahan parameter fisik seperti regangan [5,6], suhu [7, 8], dan tekanan [9]. Keunggulan FBG dibanding sensor mekanis atau elektronik lainnya adalah pengodean informasi yang diukur dalam panjang gelombang nanometer, sehingga mengurangi kerugian konektor dan kehilangan daya serta lebih sensitif terhadap perubahan fisis [10]

Sensor optik FBG telah mengalami perkembangan dan menjadi topik yang banyak diteliti dua dekade terakhir dan beberapa perkembangan penelitian aplikatif pada FBG dilaporkan seperti FBG sebagai smart textile dalam pemantauan pernapasan pada manusia secara real-time [11], pemantauan frekuensi jantung [12], dan pada pemantauan suhu dan tekanan yang dihybrid dengan tenun kain

komposit termoplastik [13]. Secara eksperimen numerik dalam peningkatan kinerja sensor FBG juga sudah banyak diteliti seperti yang dilaporkan bahwa FBG dengan bahan Topas memiliki sensitifitas lebih tinggi dibandingkan dengan bahan Tera Flex dan Silika murni [14] dan dilaporkan bahwa apodisasi mampu mempersempit *full wave half maximum* (FWHM) pada FBG seperti yang dilaporkan [15] berupa fasa phi dengan beberapa fungsi apodisasi seperti Gaussian, Sinus, Nuttall, Blackman dan Raised cosine direkomendasikan untuk sensor pemantauan suhu tinggi pada trafo listrik. FBG [16] dengan apodisasi Nuttall memiliki sensitifitas yang tinggi pada sensor suhu di permukaan laut dengan bahan dilapisi polimer hidrofobik. Metodologi penginderaan suhu berbasis *fiber optical sensor* meliputi sensor interferometri [17,18], sensor serat kristal fotonik [19] dan FBG [20,21].

FBG dapat dilihat sebagai komponen penyaringan optik di sepanjang inti serat optik dengan panjang gelombang tertentu. Berdasarkan bentuk dan struktur kisi, FBG secara umum diklasifikasikan sebagai homogen dan apodisasi. FBG seragam secara inheren sensitif terhadap perubahan regangan eksternal dan suhu. Sifat penginderaan ini dipandang sebagai pergeseran panjang gelombang dalam spektrum pantulan unit penginderaan. Spektrum diperlihatkan dari sebuah FBG homogen ditandai dengan adanya jumlah sisi yang lebih banyak lobus dan energi yang sangat dekat dengan panjang gelombang puncak sehingga mengurangi akurasi deteksi sensor tersebut [22].

Penelitian ini akan merancang, mensimulasikan dan menganalisis kinerja sebagai komponen sensor suhu dan regangan untuk menghasilkan FBG yang sensitif dan akan dilakukan optimalisasi dengan beberapa chirping dan apodisasi seperti Blackman, Hamming dan Gaussian yang merupakan teknik mengurangi lobus samping, sehingga akan menghasilkan sinyal yang sempit dan sensitif. Parameter yang akan dipertimbangkan untuk mengetahui pengaruh sensitivitasnya ialah panjang kisi, dan variasi chirping dan

apodisasi dengan bahan Topas [14]. Metodologi menggunakan simulasi komponen sensor FBG dengan perangkat *Optigrating* dengan pergeseran puncak gelombang Bragg tiap perubahan temperatur dan regangan, selanjutnya akan mengoptimalkan kinerja sensor terhadap beberapa apodisasi yang akan divalidasikan dengan perangkat *OptiSystem*.

TINJAUAN PUSTAKA

Serat optik merupakan sebuah media transmisi cahaya dan dapat membawa informasi berupa data suara dan video [23]. Cahaya ditransmisikan melalui serat yang terbuat dari Silika [24]. Semenjak ditemukannya serat optik banyak perkembangan yang terjadi, efisien dalam mentransmisikan cahaya selain Silika, juga ada berbahan Germanium, Topas, Tera Flex, plastik dan polimer. Serat optik ini dapat digunakan untuk menggantikan kabel konvensional yang fungsinya sebagai kabel daya. Serat optik memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan kabel konvensional elektronik terutama karena data yang dikirimkan dimodulasi dengan laser atau cahaya sehingga tidak berbahaya. Keunggulan lainnya adalah pengiriman data yang sangat cepat, akurat dan relatif stabil terhadap kondisi lingkungan dibandingkan dengan kabel konvensional. Tak heran kalau serat optik dapat digunakan untuk mentransmisi data lintas benua dengan kerentanan terhadap gelombang elektromagnetik yang mengakibatkan tidak adanya interferensi gelombang, tahan terhadap suhu tinggi, redaman transmisi yang kecil, serta memiliki *bandwith* yang besar [25].

FBG dapat memantulkan panjang gelombang tertentu yang disebut dengan panjang gelombang Bragg dan mentransmisikan panjang gelombang lainnya akibat dari adanya kisi yang berperiodik di dalam bagian inti serat. Ketika cahaya mengenai bagian kisi maka terjadi hamburan yang disebut dengan efek Bragg. Panjang gelombang Bragg, λ_b bergantung pada periode kisi Λ , dan sifat pemandu dari FBG seperti

indeks bias, n_{eff} secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut [26]:

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

Distribusi indeks bias $n_{eff}(z)$ sepanjang FBG dituliskan dengan Persamaan:

$$n_{eff}(z) = n_0 + f(z) \cdot \Delta n_{ac} \cdot v \cos\left(\left(\frac{2\pi}{\Lambda}\right)z + \theta(z)\right) \quad (2)$$

dimana z adalah posisi, n_0 indeks bias mula-mula FBG, Λ perioda kisi, Δn_{ac} amplitude indeks bias modulasi, $f(z)$ fungsi apodisasi, dan $\theta(z) = 2\pi Cz^2/\Lambda$ adalah fungsi *chirp* dimana C adalah parameter *chirp*, v visibilitas pinggiran.

Persamaan (1) dan (2) berhubungan secara langsung dengan variabel kisi pada temperatur (T), regangan (L), dan perubahan panjang gelombang $\Delta\lambda$, dengan memisalkan X secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta\lambda_b = \frac{d\lambda_b}{dX} \Delta X = \lambda_b \left(\frac{\delta n_{eff}}{n_{eff}} + \alpha \right) \Delta X \quad (3)$$

dimana $\delta n_{eff}/n_{eff}$ adalah sensitivitas yang dinormalisasikan dari indeks bias moda dan α adalah koefisien perubahan panjang fisik yang bergantung pada parameter X . FBG bertindak sebagai sensor ketika perubahan parameter fisis tersebut dapat menggeser panjang gelombang Bragg terhadap besaran yang diukur seperti suhu, regangan, tekanan hidrostatis atau indeks bias dari kelongsong yang fungsinya pada Persamaan (3) [27].

Pergeseran panjang gelombang Bragg dalam mengukur suhu dan regangan dipengaruhi oleh koefisien *thermo-optic* dan ekspansi termal bahan yang digunakan, dan dapat mengukur suhu dan regangan secara bersamaan seperti pada Persamaan (4):

$$\Delta\lambda_b = \lambda_b (\alpha + \delta) \Delta T \quad (4)$$

Pergeseran panjang gelombang Bragg terhadap suhu dipengaruhi oleh koefisien α (thermo-optik) dan δ koefisien ekspansi termal

masing-masing didefinisikan oleh Persamaan $\alpha = (1/n_{eff})(\Delta n_{eff}/\Delta T)$ dan $\delta = (1/\Lambda)(\Delta\Lambda/\Delta T)$.

Sementara dalam sensitivitas terhadap regangan, pergeseran panjang gelombang Bragg dipengaruhi oleh koefisien regangan optik, rasio poisson, indeks bias dan koefisien ekspansi thermal yang ditunjukkan oleh persamaan dibawah ini:

$$\Delta\lambda_b = \lambda_b (1 - \rho_e) \delta \quad (5)$$

dengan ρ_e adalah koefisien regangan optik yang didefinisikan sebagai $\rho_e = (n^2/2)(\rho_{12} - \nu(\rho_{11} + \rho_{12}))$ dimana ν merupakan rasio poisson dan ρ_{11} dan ρ_{12} merupakan tensor regangan.

Secara alamiah sensor serat kisi Bragg tidak dapat dipisah hanya untuk mengukur satu parameter suhu saja atau regangan saja. Serat kisi Bragg mengukur kedua besaran secara bersamaan seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (6):

$$\Delta\lambda = k_t \Delta T + k_e \Delta\delta + \Delta k_t \Delta k_e \Delta\delta \quad (6)$$

FBG dapat ditingkatkan kinerjanya dengan apodisasi, yang merupakan teknik menghilangkan parameter-parameter yang tidak menguntungkan dari sepektrum cahaya yang direfleksikan, tetapi terdapat beberapa kerugian diantaranya pengurangan amplitudo dari puncak reflektivitas spektrum. Beberapa aplikasi yang menerapkan perbedaan apodisasi adalah *filtering*, kompensasi dispersi, penyetulan panjang gelombang dan penginderaan dalam komunikasi optik dan optoelektronik serta peningkatan kinerja dalam sensor temperatur dan regangan [14]. Hasil penelitian terdahulu diperoleh bahwa apodisasi profil terbaik dalam kinerja FBG sebagai sensor suhu dan regangan adalah apodisasi fungsi Gaussian dengan sensitivitas sebesar 0,84 $\mu\text{m}/\mu\text{strain}$ dan 14 $\text{pm}/^\circ\text{C}$ [14]. Berikut adalah fungsi apodisasi Gaussian yang digunakan [28]:

$$A(x) = \exp \left(-\ln 2 \left(\frac{2(x - \frac{L}{2})}{0.5L} \right)^2 \right) \quad (7)$$

Selain fungsi apodisasi, fungsi *chirp* juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor FBG. Berikut ini jenis fungsi *chirp* [25]:

1. *Linear*

$$\Lambda(z) = \Lambda_0 - \frac{z-L/2}{L} \Delta; \Delta''\Lambda_0 \quad (8)$$

2. *Quadratic*

$$\Lambda(z) = \Lambda_0 - \left[\left(\frac{z}{L} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \Delta; \Delta''\Lambda_0 \quad (9)$$

3. *Square root*

$$\Lambda(z) = \Lambda_0 - \left[\sqrt{\frac{z}{L}} - \frac{1}{\sqrt{2}} \right] \Delta; \Delta''\Lambda_0 \quad (10)$$

4. *Cubic root*

$$\Lambda(z) = \Lambda_0 - \left[\sqrt[3]{\frac{z}{L}} - \frac{1}{\sqrt[3]{2}} \right] \Delta; \Delta''\Lambda_0 \quad (11)$$

dimana, $\Lambda(z)$ merupakan periode *grid* pada jarak tertentu, Λ_0 adalah periode awal *grid*, dan Δ adalah total *chirp*.

Apodisasi merupakan salah satu teknik dalam meningkatkan sensitivitas sensor FBG. Banyak penelitian telah dilaporkan mengenai pengaruh perubahan apodisasi [30], seperti apodisasi fungsi Nuttall-Blackman dapat menekan sisi lobus spektrum refleksi dibandingkan dengan tanpa apodisasi atau jenis uniform. Semakin kecil atau sempit sisi lobus akan memberikan sensitivitas yang tinggi pada sensor FBG. Selanjutnya dilaporkan [15] dalam pemantauan suhu tinggi pada trafo listrik, serat kisi Bragg dengan fasa μ diperoleh hasil bahwa FBG unggul dibandingkan dengan jenis sinusoidal untuk setiap apodisasi. Dalam penelitian ini akan dioptimalkan kinerja sensor suhu dan regangan FBG dengan variasi apodisasi, panjang kisi dan puncak refleksi untuk aplikasi pemantauan pernapasan pada manusia.

METODE PENELITIAN

Komponen FBG bahan Topas *cyclic olefin copolymer* (COC) dirancang dengan parameter dan besaran-besaran yang mempengaruhi kinerja sensor FBG. Hasil simulasi akan memberikan gambaran perubahan panjang gelombang Bragg terhadap parameter yang divariasikan (panjang kisi 10 – 50 mm) selanjutnya data yang diperoleh dari FWHM akan dianalisa untuk menghasilkan komponen sensor FBG yang terbaik. Simulasi dioperasikan pada perangkat *OptiSystem* kemudian, profil spektrum akan diperoleh dan selanjutnya akan dilihat perubahan puncak gelombang refleksi terhadap suhu dan regangan. FBG dirancang berdasarkan geometri dan indeks bias dari *core*, *cladding*, dan bentuk kisi sesuai dengan parameter bahan Topas yang memiliki indeks bias *core* 1,53 dan indeks bias *cladding* 1,525. Selanjutnya didefinisikan puncak signal dan lobus samping kiri dan kanan dari luaran spektrum yang dihasilkan. Suhu diukur dengan menggunakan FBG dimana panjang gelombang sumber cahaya

setelah melewati kisi-kisi Bragg akan difilter. Analisis dari hasil spektrum panjang gelombang Bragg tiap periode *chirp* akan dianalisis diantaranya ialah *linear chirp*, *quadratic root*, *square root*, dan *cubic root*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan yang digunakan dalam eksperimen numerik kali ini ialah Topas COC merupakan bahan polimer yang bening dan terkemuka sangat baik diaplikasikan untuk alat-alat kesehatan dan alat elektronik [31]. Bahan Topas FBG sensor juga memiliki keunggulan dalam mengukur suhu dan regangan seperti yang dilaporkan oleh shayma *et al.* (2019), bahwa FBG sensor suhu dan regangan Bahan Topas lebih sensitif dibandingkan dengan bahan Silikon, Germanium, dan Tera Flex, dengan masing-masing sensitivitas sebesar 14 pm/°C dan 0,84 pm/ μ strain [14], Topas memiliki indeks bias 1,53 yang akan di eksperimenkan secara numerik dengan indeks bias *core* 1,53 dan indeks bias *cladding* 1,525. Parameter FBG yang lain dilihat pada Tabel 1.

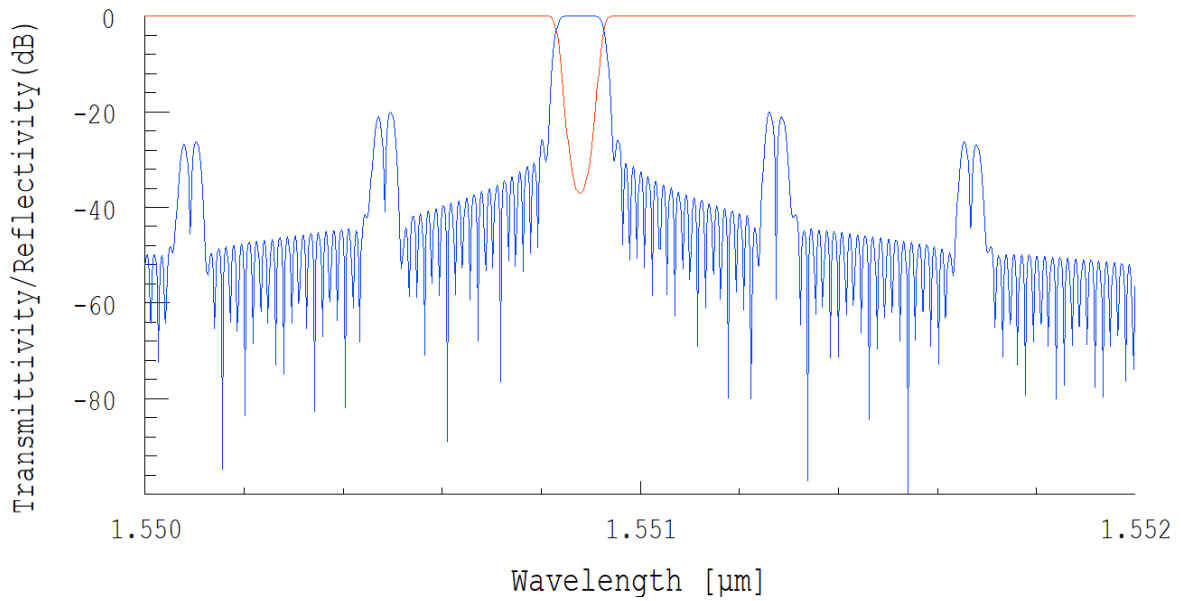
Tabel 1. Parameter pada kisi sensor FBG.

Parameter	Nilai
Periode	0,5076
Bentuk kisi	Sinusoida
Rata-rata indeks	Uniform
Apodisasi	Gaussian
Panjang kisi	50 mm
Indeks modulasi	0,0001
Total <i>chirp</i>	0,2
<i>Tapers</i> parameter	0,5

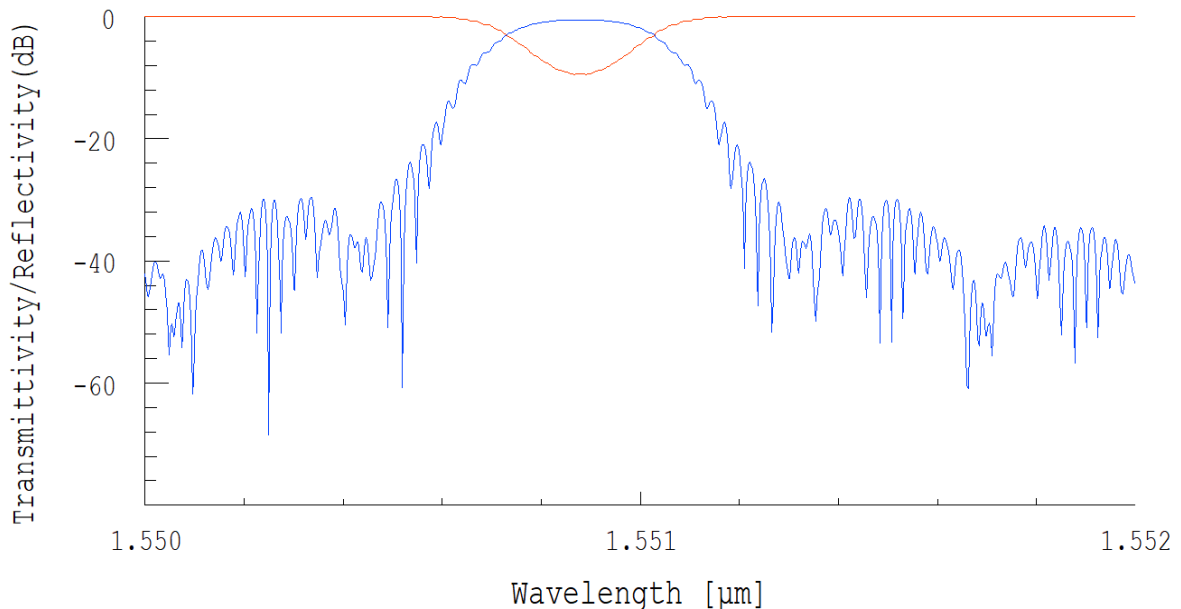
Analisis Spektrum Panjang Gelombang Apodisasi Gaussian Terhadap Fungsi *Chirp*

Fungsi apodisasi dan *chirp* faktanya dapat mempengaruhi struktur dan distribusi indeks bias yang ada di dalam kisi sensor FBG seperti yang ditujukan pada persamaan (1) dan persamaan (2) dan dalam hal ini yang diperlihatkan hanya dalam bentuk apodisasi Gaussian. Gambar 1 menunjukkan spektrum panjang gelombang Bragg dalam jangka panjang gelombang 1550 – 1552 nm, diperlihatkan kenaikan puncak tiap panjang

gelombang yang hampir periodik sebelum dan setelah melewati puncak spektrum panjang gelombang Bragg. Gambar 2 menunjukkan perbedaan lobus utama dan lobus samping dari apodisasi Gaussian dengan *linear chirp* yang tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan tanpa *chirp*, parameter yang diperoleh dari setengah puncak gelombang untuk *linear chirp* adalah *bandwidth* sebesar 0,232 nm dengan perbedaan lobus utama dan samping sebesar 0,228 nm hasil ini mengindikasikan tidak baiknya kinerja sensor FBG.



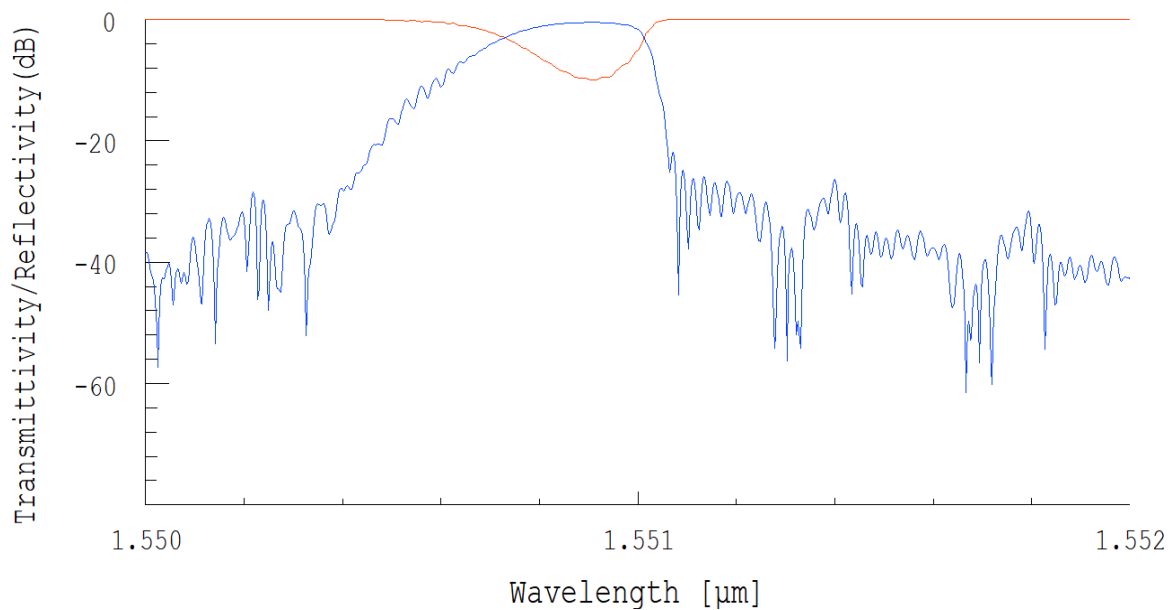
Gambar 1. Spektrum panjang gelombang sensor FBG apodisasi Gaussian dengan tanpa *chirp*.



Gambar 2. Spektrum panjang gelombang sensor FBG apodisasi Gaussian dengan *linear chirp*.

Lebar *bandwidth* dari spektrum panjang gelombang untuk *quadratic chirp* adalah sama dengan *linear chirp* yaitu sebesar 0,232 nm dan perbedaan lobus utama dan samping dari *quadratic chirp* lebih kecil yaitu sebesar 0,206 nm, spectrum refleksi dari *quadratic*

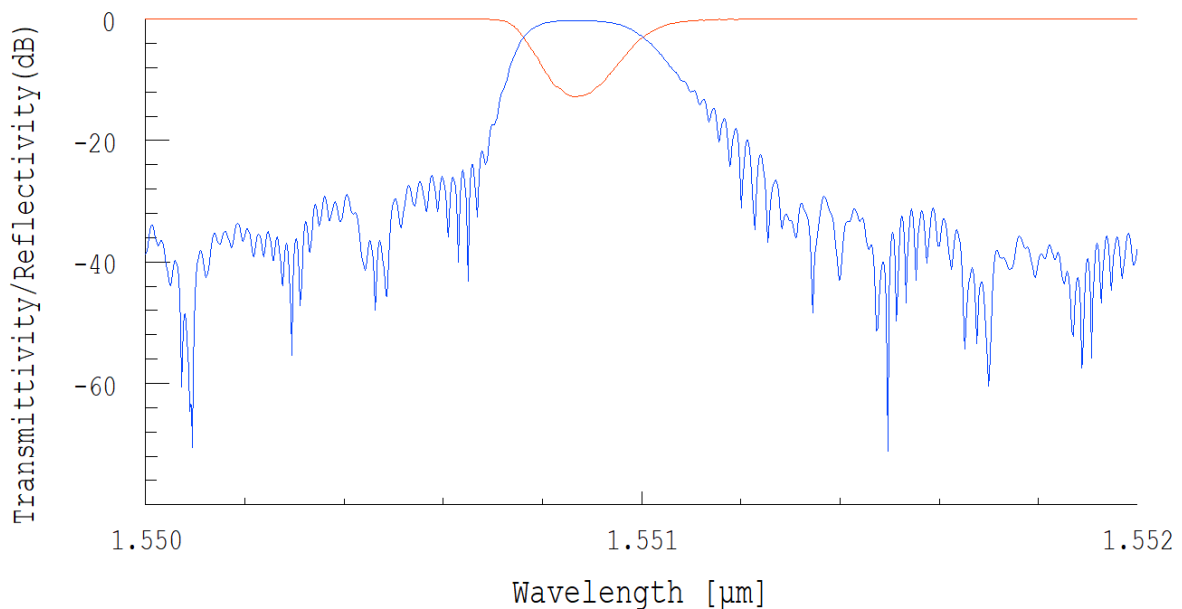
mengalami riak yang kecil dan teratur setelah mencapai puncak panjang gelombang seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3, hal ini sebenarnya bagus untuk aplikasi komunikasi optik untuk menghilangkan *noise* dari spektrum panjang gelombang.



Gambar 3. Spektrum panjang gelombang sensor FBG apodisasi Gaussian dengan *quadratic chirp*.

Gambar 4 menunjukkan *bandwidth* lobus utama dari spektrum panjang gelombang untuk *square chirp* lebih sempit dibandingkan dengan *linear chirp* dan *quadratic chirp*, yaitu 0,171 nm sedangkan perbedaan lobus samping dan

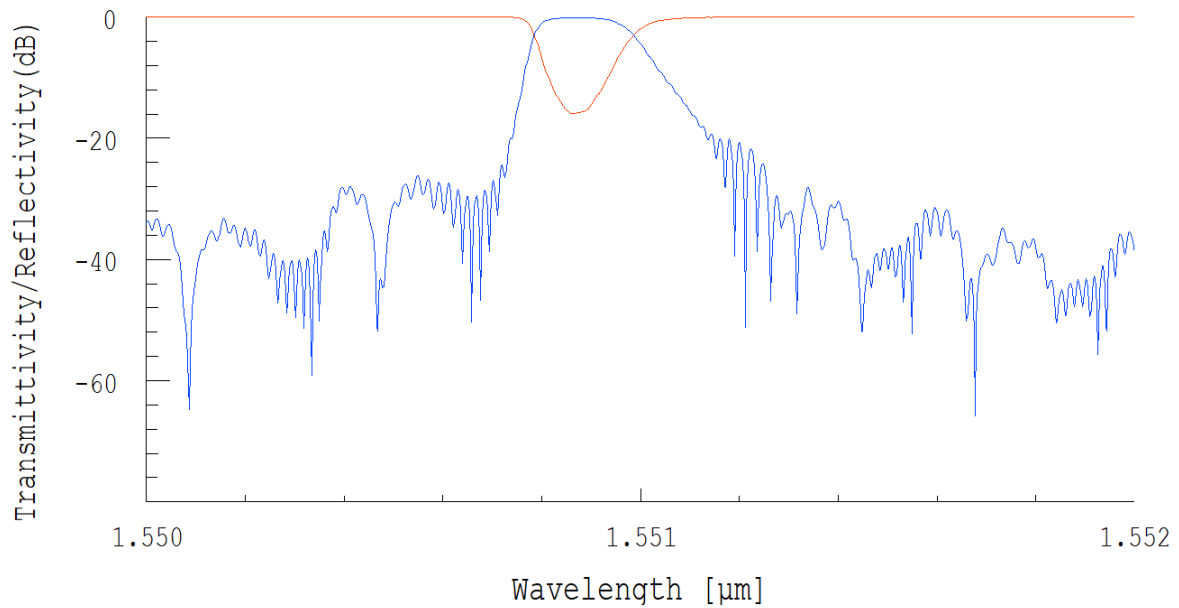
lobus utama ialah sebesar 0,164 nm yang artinya memiliki kinerja lebih buruk dibandingkan dengan periode *linear chirp* dan *quadratic chirp*.



Gambar 4. Spektrum panjang gelombang sensor FBG apodisasi Gaussian dengan *square chirp*.

Diantara periode *chirp* yang diatas, *cubic root chirp* memiliki lobus utama paling sempit yaitu 0,14 nm seperti pada Gambar 5. Sementara itu perbedaan lobus utama dan samping diperoleh 0,124 nm yang semakin kecil perbedaan lobus utama dan samping

dibandingkan dengan *linear, square, quadratic chirp*. Hal tersebut mengindikasikan kinerja yang tidak bagus dari sensor FBG baik terhadap suhu maupun terhadap regangan. Namun FWHM yang sempit mengindikasikan sensor FBG yang lebih sensitif.

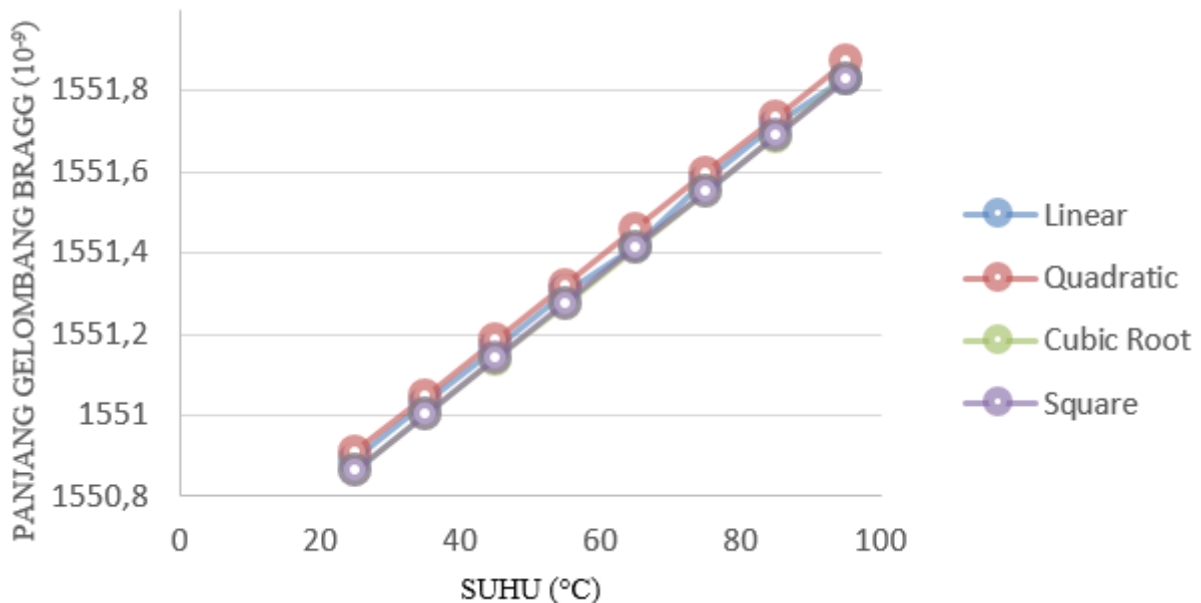


Gambar 5. Spektrum panjang gelombang sensor FBG apodisasi Gaussian dengan *cubic root chirp*.

Sensitivitas Terhadap Suhu

Seperti yang ditunjukkan pada persamaan (6) bahwa panjang gelombang Bragg akan bergeser tiap perubahan suhu dan regangan, sementara itu keterkaitan silang antara perubahan suhu dan regangan tidak bisa dipisahkan namun dengan menggunakan perangkat *Optigrating* akan dihilangkan pengaruh perubahan regangan

dan hanya meninjau pengaruh perubahan suhu untuk bagian ini dengan menggunakan koefisien *thermo optic* sebesar $8,3 \times 10^6$ dan koefisien ekspansi termal $5,5 \times 10^7$. Setelah rancangan selesai dan menginput semua parameter, maka diperoleh pergeseran panjang gelombang Bragg masing-masing *chirp* untuk apodisasi Gaussian seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Pergeseran panjang gelombang Bragg terhadap suhu untuk masing-masing fungsi *chirp*.

Pergeseran panjang gelombang Bragg untuk tiap suhu hampir selalu linier seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6, nilai sensitivitas

masing-masing fungsi *chirp* seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Sensitivitas masing-masing fungsi chirp terhadap suhu.

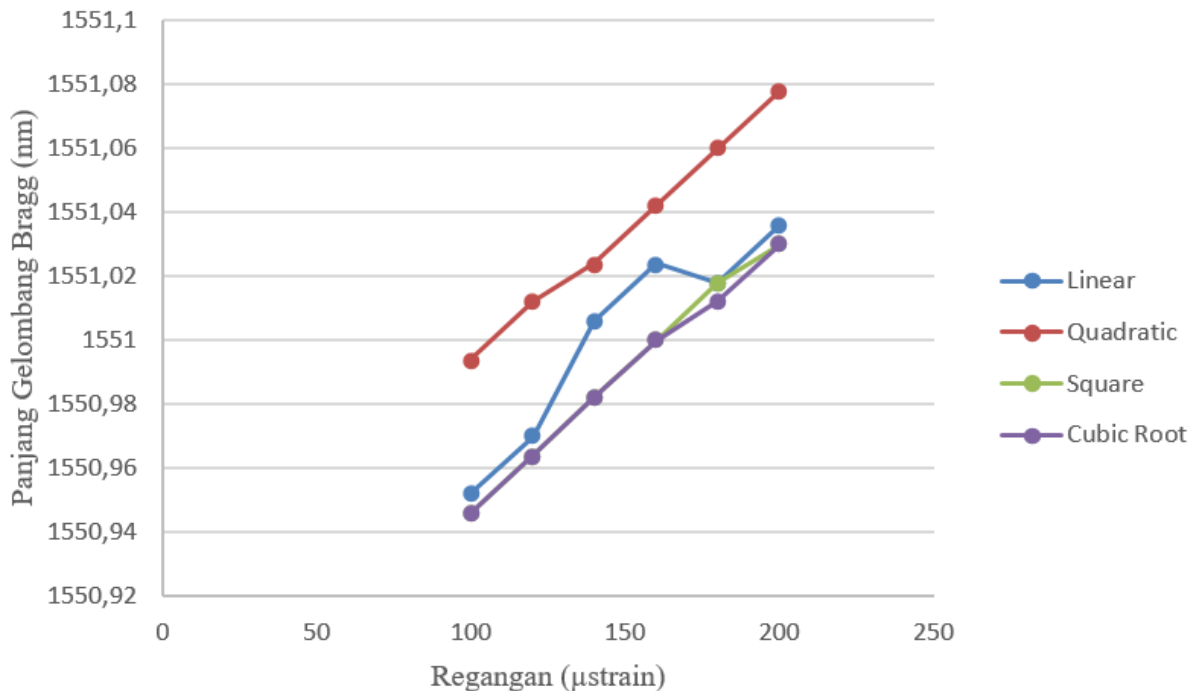
<i>Chirp</i>	Sensitivitas Suhu (pm/°C)
<i>Linear</i>	13,4
<i>Quadratic</i>	13,71429
<i>Cubic Root</i>	13,82857
<i>Square</i>	13,74286

Pada Tabel 2 diperoleh bahwa masing-masing fungsi *chirp* memiliki sensitivitas yang berbeda dengan apodisasi Gaussian untuk *cubic root chirp* yang memiliki pergeseran panjang gelombang Bragg yang paling besar yaitu 13,82857 pm/°C diikuti oleh *square chirp* 13,74286 pm/°C, *quadratic chirp* 13,71429 pm/°C, dan *linear chirp* 13,4 pm/°C. Hasil tersebut menyatakan bahwa kinerja sensor FBG Topas apodisasi Gaussian untuk *cubic root chirp* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan periode *chirp* lainnya.

Sensitivitas Terhadap Regangan

Seperti halnya suhu maka FBG juga memiliki sensitivitas terhadap perubahan regangan seperti pada persamaan (6), setelah menginput koefisien *photoelastic* $\rho_{11} = 0,121$,

$\rho_{12} = 0,27$ dengan rasio Poisson 0,17 Maka diperoleh pergeseran puncak gelombang Bragg dengan tiap perubahan regangan sebesar 20 μ strain. Pada Gambar 7 menunjukkan pergeseran panjang gelombang Bragg tiap satuan regangan tidak begitu linier dibandingkan dengan perubahan suhu, namun untuk *cubic* dan *square chirp* linieritas tampak lebih bagus dibandingkan dengan periode *chirp* lainnya. Sementara itu yang paling tidak linier ialah *linear chirp* dalam regangan 120 – 140 μ strain yang mengalami peningkatan yang jauh. Sedangkan pada regangan 160 – 180 μ strain, puncak gelombang Bragg mengalami penurunan dibandingkan dengan sebelumnya, ini mengindikasikan kinerja sensor regangan yang buruk dari FBG.



Gambar 7. Pergeseran panjang gelombang Bragg terhadap regangan.

Tabel 3. Sensitivitas regangan FBG Topas apodisasi Gaussian pada setiap chirp.

<i>Chirp</i>	Sensitivitas Regangan (pm/ μ strain)
<i>Linear</i>	0,84
<i>Quadratic</i>	0,84
<i>Square</i>	0,84
<i>Cubic Root</i>	0,84

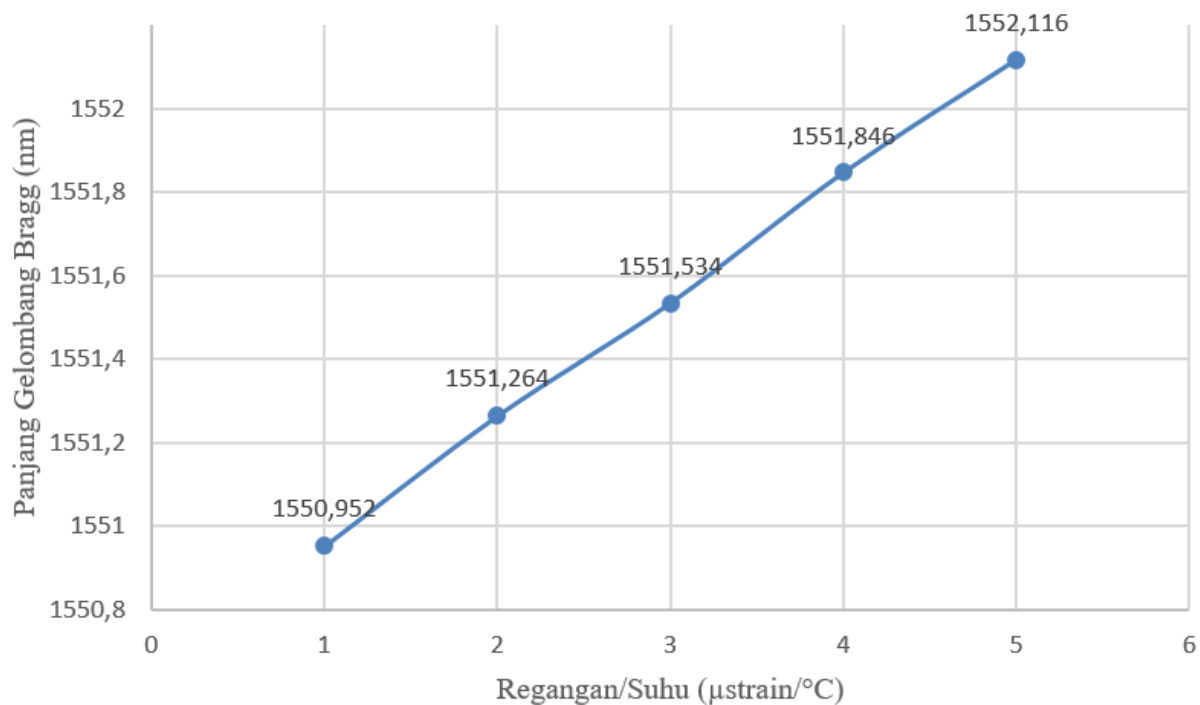
Pergeseran panjang gelombang Bragg terhadap regangan sama dengan yang dilaporkan oleh shayma *et al.* (2019) dalam artikelnya dengan sensitivitas 0,84 pm/ μ strain walaupun memiliki linieritas yang berbeda.

Walaupun memiliki linieritas yang berbeda namun sensitivitas FBG terhadap regangan untuk masing-masing fungsi chirp sama yaitu sebesar 0,84 pm/ μ strain. Hasil yang sama juga diperoleh oleh shayma *et al.* (2019) dalam publikasinya mengenai sensitivitas FBG Topas apodisasi Gaussian. Dari hasil temuannya diperlihatkan bahwa walaupun puncak gelombang Bragg pada suhu ruangan untuk tiap fungsi *chirp* berbeda namun gradien pergeseran panjang gelombang Bragg dalam rentang regangan 100 – 200 μ strain memiliki nilai yang sama seperti pada Tabel 3. Fungsi *chirp* dan

apodisasi ialah dua buah fungsi yang dapat mengubah geometri dalam isi FBG dan juga dapat menghilangkan *noise* dari spektrum panjang gelombang yang dihasilkan.

Sensitivitas Suhu dan Regangan Bahan Topas *Linear Chirp*

Pengukuran sensor FBG terhadap suhu dan regangan tidak bisa dipisahkan, pergeseran panjang gelombang Bragg tergantung kepada dua besaran suhu dan regangan yang tidak bisa dihilangkan satu dengan yang lainnya. Pada Gambar 8 ditunjukkan pergeseran panjang gelombang Bragg terhadap suhu dan regangan sekaligus untuk setiap 200 °C dan 20 μ strain.



Gambar 8. Pergeseran sensor FBG terhadap perubahan suhu dan regangan sekaligus.

Tabel 4. Puncak panjang gelombang Bragg apodisasi Gaussian tiap suhu dan regangan sekaligus.

No	Regangan/Suhu ($\mu\text{strain}/^{\circ}\text{C}$)	Panjang Gelombang Bragg (nm)
1	100/25	1550,952
2	120/45	1551,264
3	140/65	1551,534
4	160/85	1551,846
5	180/105	1552,116

Berdasarkan hasil Tabel 4 yang diperoleh menunjukkan bahwa puncak panjang gelombang Bragg untuk dua besaran sekaligus seperti suhu dan regangan pada suhu ruangan dan regangan 100 μstrain diperoleh puncak panjang gelombang Bragg pada 1550,952. Sementara itu untuk masing-masing suhu 25 $^{\circ}\text{C}$ dan regangan 100 μstrain diperoleh 1550,89 nm dan 1550,952 nm, dari hasil tersebut diperlihatkan memiliki nilai yang sama dengan puncak panjang gelombang Bragg pada regangan 100 μstrain . Sementara itu jika kita lihat untuk suhu 65 $^{\circ}\text{C}$ dan 140 μstrain sekaligus diperoleh puncak Panjang gelombang sebesar 1551,416 nm dan 1551,006 nm. Pada suhu dan regangan sekaligus diperoleh 1551,534 nm dan 0,118 nm perbedaan dari puncak gelombang Bragg pada suhu dan 0.410 nm pada regangan. Disini jupa didapatkan bahwa pengaruh perubahan suhu tiap 10 $^{\circ}\text{C}$ lebih besar terhadap pergeseran puncak panjang gelombang Bragg daripada 1 μstrain .

KESIMPULAN

Fungsi *chirp* memiliki sensitivitas yang berbeda dengan apodisasi Gaussian untuk sensor suhu dengan *cubic root chirp* memiliki pergeseran panjang gelombang Bragg yang paling besar yaitu 13,82857 $\text{pm}/^{\circ}\text{C}$, diikuti oleh *square chirp* 13,74286 $\text{pm}/^{\circ}\text{C}$, *quadratic chirp* 13,71429 $\text{pm}/^{\circ}\text{C}$, dan *linear chirp* 13,4 $\text{pm}/^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan hasil yang tersebut, kinerja sensor FBG Topas apodisasi Gaussian dengan *cubic root chirp* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan periode *chirp* lainnya. Sedangkan sensitivitas FBG terhadap regangan untuk masing-masing fungsi *chirp* sama yaitu sebesar 0,84 $\text{pm}/\mu\text{strain}$.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Riau khususnya Laboratorium Plasma dan Fotonik yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan penelitian.

REFERENSI

1. Tahhan, S. R., Ali, M. H., & Abass, A. K. (2020). Characteristics of dispersion compensation for 32 channels at 40 Gb/s under different techniques. *Journal of Optical Communications*, **41**(1), 57–65.
2. Irawan, D., Ali, J., & Fadhali, M. (2013). Birefringence analysis of directional fiber coupler induced by fusion and coupling parameters. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, **124**(17), 3063–3066.
3. Navruz, I. & Guler, N. F. (2008). A novel technique for optical dense comb filters using sampled fiber Bragg gratings. *Optical Fiber Technology*, **14**(2), 114–118.
4. Murthy, C. S. R. & Gurusamy, M. (2002). *WDM optical networks: concepts, design, and algorithms*. Prentice Hall.
5. Tahir, B. A., Ali Saktioto, J., Fadhali, M., Rahman, R. A., & Ahmed, A. (2008). A study of FBG sensor and electrical strain gauge for strain measurements. *Journal of optoelectronics and advanced materials*, **10**(10), 2564–2568.
6. Yang, X., Luo, S., Chen, Z., Ng, J. H., & Lu, C. (2007). Fiber Bragg grating strain sensor based on fiber laser. *Optics communications*, **271**(1), 203–206.
7. Vendittozzi, C., Felli, F., & Lupi, C. (2018). Modeling FBG sensors sensitivity

- from cryogenic temperatures to room temperature as a function of metal coating thickness. *Optical Fiber Technology*, **42**, 84–91.
8. Daud, S., Jalil, M. A., Najmee, S., Saktioto, S., Ali, J., & Yupapin, P. P. (2011). Development of FBG sensing system for outdoor temperature environment. *Procedia Engineering*, **8**, 386–392.
 9. Jahan, M. I., Honnungar, R. V., & Versha, R. (2018). Analysis of FBG sensor for accurate pressure sensing with improved sensitivity. *Materials Today: Proceedings*, **5**(2), 5452–5458.
 10. Kashyap, R. (2009). *Fiber bragg gratings*. Academic press.
 11. Issatayeva, A., Beisenova, A., Tosi, D., & Molardi, C. (2020). Fiber-optic based smart textiles for real-time monitoring of breathing rate. *Sensors*, **20**(12), 3408.
 12. Dziuda, L., Skibniewski, F. W., Krej, M., & Lewandowski, J. (2012). Monitoring respiration and cardiac activity using fiber Bragg grating-based sensor. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, **59**(7), 1934–1942.
 13. Chen, C., Wu, Q., Xiong, K., Zhai, H., Yoshikawa, N., & Wang, R. (2020). Hybrid temperature and stress monitoring of woven fabric thermoplastic composite using fiber Bragg grating based sensing technique. *Sensors*, **20**(11), 3081.
 14. Tahhan, S. R., Ali, M. H., Al-Ogaidi, M. A. Z., & Abass, A. K. (2019). Impact of Apodization Profile on Performance of Fiber Bragg Grating Strain-Temperature Sensor. *J. Commun.*, **14**(1), 53–57.
 15. El-Gammal, H. M., El-Badawy, E. S. A., Rizk, M. R., & Aly, M. H. (2020). A new hybrid FBG with a π -shift for temperature sensing in overhead high voltage transmission lines. *Optical and Quantum Electronics*, **52**(1), 1–24.
 16. CR, U. K., Samiappan, D., Kumar, R., & Sudhakar, T. (2020). Development and experimental validation of a Nuttall apodized fiber Bragg Grating sensor with a hydrophobic polymer coating suitable for monitoring sea surface temperature. *Optical Fiber Technology*, **56**, 102176.
 17. Zhou, X., Zhou, Y., Li, Z., Bi, M., Yang, G., & Wang, T. (2019). Research on temperature sensing characteristics with cascaded fiber Sagnac interferometer and fiber Fabry–Perot interferometer-based fiber laser. *Optical Engineering*, **58**(5), 057103.
 18. Irawan, D., Saktioto, T., Ali, J., & Yupapin, P. (2015). Design of Mach-Zehnder interferometer and ring resonator for biochemical sensing. *Photonic Sensors*, **5**(1), 12–18.
 19. Ying, Y., Hu, N., Si, G. Y., Xu, K., Liu, N., & Zhao, J. Z. (2019). Magnetic field and temperature sensor based on D-shaped photonic crystal fiber. *Optik*, **176**, 309–314.
 20. Syahputra, R. F. & Meri, R. (2017). Profile of single mode fiber coupler combining with Bragg grating. *Telkomnika*, **15**(3), 1103–1107.
 21. Reddy, P. S., PRASAD, R. N. S., Sengupta, D., Shankar, M. S., & Srimannarayana, K. (2010). Teflon-coated fiber Bragg grating sensor for wide range of temperature measurements. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, **12**, 2040–2043.
 22. Jin, X., Yuan, S., & Chen, J. (2019). On crack propagation monitoring by using reflection spectra of AFBG and UFBG sensors. *Sensors and Actuators A: Physical*, **285**, 491–500.
 23. Van Delden, J. S. (1995). Optical circulators improve bidirectional fiber systems. *Laser focus world*, **31**(11), 109–112.
 24. Djohan, N. & No, J. T. D. R. (2009). Soliton dalam Serat Optik. *Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta*.
 25. Sari, D. M. (2010). Kajian karakteristik rugi-rugi pada serat Optik Telkom karena pembengkokan Makro.

26. Measures, R. M. (2001). *Structural monitoring with fiber optic technology*. Academic Press, Inc.
27. Xu, M. G., Archambault, J. L., Reekie, L., & Dakin, J. P. (1994). Thermally-compensated bending gauge using surface-mounted fibre gratings. *International Journal of Optoelectronics*, **9**(3), 281–283.
28. Blackman, R. B. & Tukey, J. W. (1985). *The measurement of power spectra*. New York: Dover Publications.
29. Mohammed, N. A., Ali, T. A., & Aly, M. H. (2013). Performance optimization of apodized FBG-based temperature sensors in single and quasi-distributed DWDM systems with new and different apodization profiles. *AIP Advances*, **3**(12), 122125.
30. CR, U. K., Samiappan, D., Kumar, R., & Sudhakar, T. (2020). Development and experimental validation of a Nuttall apodized fiber Bragg Grating sensor with a hydrophobic polymer coating suitable for monitoring sea surface temperature. *Optical Fiber Technology*, **56**, 102176.
31. Bundgaard, F., Perozziello, G., & Geschke, O. (2006). Rapid prototyping tools and methods for all-Topas® cyclic olefin copolymer fluidic microsystems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, **220**(11), 1625–1632.
32. Khanarian, G. (2001). Optical properties of cyclic olefin copolymers. *Optical Engineering*, **40**(6), 1024–1029.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)