

Analisis Pengaruh Panjang Kupasan dan Perubahan Suhu Terhadap Pancaran Intensitas pada Serat Optik Plastik *Multimode* Tipe FD-620-10

Puspita Fahmi Ariani dan Gontjang Prajitno

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: gontjang@physics.its.ac.id

Abstrak—Telah dilakukan penelitian mengenai analisis pengaruh pemberian kupasan *jacket* dan *cladding* pada serat optik plastik mode jamak tipe FD-620-10 terhadap perubahan suhu dengan menggunakan detektor silikon dan BF5R-D1-N. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh kenaikan suhu terhadap *loss* pada serat optik plastik dan mengetahui kemampuan detektor silikon dan BF5R-D1-N dalam pengukuran tegangan dan intensitas pada variasi panjang kupasan. Variasi panjang kupasan yang digunakan adalah 30, 40, 50, 60, 70, dan 80 mm. Pengukuran dilakukan pada range suhu 30°C - 75°C dengan pengambilan data setiap kenaikan 1°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu di daerah *sensing*, semakin besar *loss* yang terjadi akibat adanya pemuai termal di daerah *sensing* yang menyebabkan penurunan indeks bias *core*. Detektor silikon mampu mendeteksi perubahan intensitas cahaya dan bekerja optimal pada serat optik dengan panjang kupasan 80 mm BF5R-D1-N dapat merespon perubahan intensitas cahaya dan bekerja optimal pada serat optik dengan panjang kupasan 30 mm.

Kata Kunci— BF5R-D1-N, detektor silikon, *loss*, suhu.

I. PENDAHULUAN

RERAT optik plastik merupakan serat optik yang berbahan plastik polimer, dimana lapisan inti (*core*) dibuat dari bahan *poly methyl metacrylate* (PMMA) sedangkan lapisan *coating* terbuat dari perfluoropolimer [1]. Salah satu kelemahan POF adalah besarnya nilai *loss* sehingga menghambat proses pengiriman informasi. Salah satu penyebab terjadinya *loss* pada POF adalah adanya pengaruh panas terhadap serat optik [2]. Beberapa sifat material menunjukkan ketergantungannya terhadap perubahan temperatur, diantaranya titik lebur, massa jenis, konduktivitas listrik, dan indeks bias. Ketergantungan indeks bias material terhadap temperatur inilah yang menjadi ide awal dalam penelitian ini. Adanya perubahan temperatur di daerah sekitar *core* serat optik diharapkan mampu mempengaruhi indeks biasnya, sehingga dapat diamati perubahan *loss* nya.

Telah dilakukan banyak penelitian mengenai pengaruh pemberian suhu terhadap serat optik, diantaranya oleh Sujito pada 2012 yang melakukan penelitian mengenai pengaruh pemberian suhu -14°C hingga 30°C dengan kontrol waktu terhadap serat optik silika *singlemode*. Pemanfaatan serat optik sebagai sensor perubahan suhu telah dilakukan dengan menggunakan prinsip rugi daya pada serat optik [3]. Dalam penelitian tersebut digunakan

serat optik silika mode jamak dan diberikan variasi panjang kupasan. Serat optik diuji pada suhu 30°C hingga 75°C dan dihasilkan rugi daya yang semakin besar seiring dengan kenaikan suhu.

Pada penelitian dilakukan analisis mengenai pengaruh pemberian kupasan *jacket* dan *cladding* pada serat optik plastik *multimode* tipe FD-620-10 terhadap perubahan suhu. Dalam penelitian ini digunakan dua alat ukur yang berbeda yaitu BF5R-D1-N dan detektor silikon yang masing-masing memiliki sensitivitas berbeda.

Penerapan hukum Snellius dilakukan pada proses pemantulan dan pembiasan sinar pada bidang batas antara dua medium yang berbeda kerapatannya. Sinar yang datang dari medium rapat (n_1) ke medium kurang rapat (n_2) akan dibiaskan menjauhi garis normal. Sudut tertentu sinar akan dirambatkan pada bidang batas kedua medium yaitu bidang batas *core* dan *cladding* (sinar tidak dibiaskan pada *cladding*). Sudut θ_c pada keadaan tersebut dinamakan sudut kritis yang dilambangkan dengan θ_c . Dengan menggunakan hukum Snellius diperoleh nilai sudut θ_c seperti berikut [4]:

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin \theta_2$$

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_c = \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1)$$

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2)$$

dengan n_1 dan n_2 menunjukkan indeks bias *core* dan indeks bias *cladding*. Untuk nilai sudut $\theta_c < \theta$, tidak ada sinar yang dibiaskan ke dalam *cladding*, sehingga seluruh sinar akan terpandu dalam *core* serat optik [5].

Tingkat numerik atau *numerical aperture* NA menyatakan hubungan sudut sinar masukan dengan indeks bias ketiga medium (udara, *core* dan *cladding*) yang dinyatakan dengan:

$$NA = n_0 \sin \theta_{i,max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3)$$

Didefinisikan beda indeks bias antar *core* dan *cladding* (Δ) menurut persamaan:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_2} \quad (4)$$

Perbedaan nilai n_1 dan n_2 sangat kecil, sehingga nilai Δ juga kecil, dengan demikian Persamaan diatas dapat ditulis:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (5)$$

Suhu didefinisikan sebagai tingkat atau derajat tertentu dari panas atau dinginnya sesuatu sebagai referensi pada skala tertentu. Dan juga dapat didefinisikan sebagai jumlah energi panas yang dimiliki oleh suatu benda atau sistem. Energi panas berkaitan langsung dengan energi molekular (getaran, gesekan dan osilasi partikel dalam sebuah molekul, semakin tinggi energi panas, maka semakin besar energi molekular) [6].

Dua parameter yang mencirikan pengaruh suhu pada serat optik adalah koefisien muai termal (*Thermal Expansion Coefficient = TEC*) dan koefisien termo-optik (*Thermo-Optic Coefficient = TOC*). Koefisien muai termal mencirikan ekspansi fisik atau kontraksi volume suatu material, sedangkan koefisien termo-optik mencirikan perubahan indeks bias sebagai respon dari perubahan suhu. Dengan menggunakan koefisien muai termal dan koefisien termo-optik, maka perubahan panjang serat optik (ΔL), perubahan jari-jari inti (Δa), dan perubahan indeks bias (Δn) akibat dari perubahan suhu (ΔT), masing-masing dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad (6)$$

$$\Delta a = \alpha a \Delta T \quad (7)$$

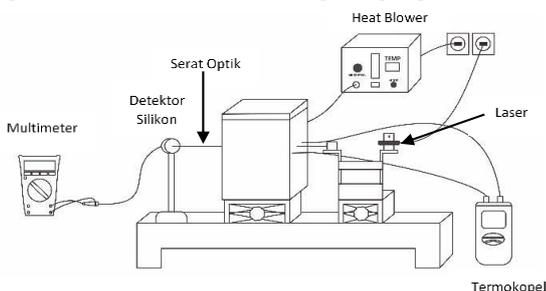
$$\Delta n = \beta n \Delta T \quad (8)$$

Dimana α merupakan koefisien muai termal dan β merupakan koefisien termo-optik. Δn merupakan perubahan indeks bias akibat dari perubahan suhu ΔT . Untuk serat optik polimer PMMA memiliki koefisien muai panas $\alpha = 7 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ dan koefisien termo-optik $\beta = -1,2 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ [7].

II. METODOLOGI

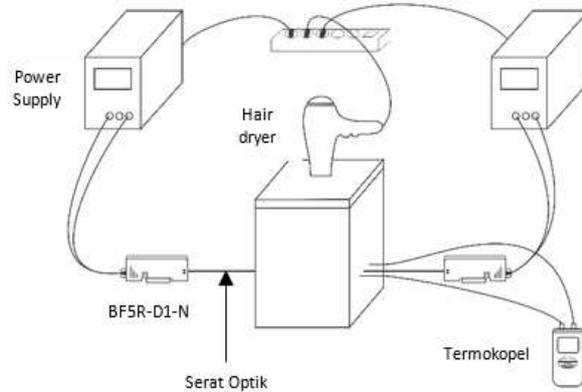
A. Tahap Perancangan Kerangka Alat dan Sistem Suhu

Rancangan kerangka alat pada penelitian ini terdiri dari kotak *styrofoam* yang di dalamnya diberi kaleng dengan ukuran diameter 12cm dan tinggi 6cm. Pemberian kotak *styrofoam* ini bertujuan agar udara panas yang dialirkan melalui *heat blower* terisolasi di dalam kotak dan tidak mempengaruhi suhu di luar kotak. Pada sisi kaleng terdapat termokopel tipe K yang masing-masing kakinya diletakkan di sisi kanan dan kiri dekat daerah kupasan serat optik. Salah satu ujung serat optik disambungkan ke laser semikonduktor sebagai sumber cahaya dan ujung lainnya disambungkan ke detektor silikon yang akan mendeteksi ada atau tidaknya cahaya yang ditransmisikan serat optik. Untuk mengetahui besarnya cahaya yang diterima oleh detektor silikon, maka detektor silikon disambungkan ke multimeter dan kemudian multimeter akan membaca besarnya cahaya yang diterima oleh detektor sebagai tegangan.



Gambar 1. Skema alat percobaan dengan detektor silikon

Tahap selanjutnya adalah penelitian dengan menggunakan detektor BF5R-D1-N yang terdiri dari kotak *styrofoam* yang di dalamnya diberi kaleng dengan ukuran diameter 12cm dan tinggi 6cm dengan pemanas berupa *hair dryer* yang diletakkan pada bagian tutup *styrofoam*. Badan *styrofoam* digunakan untuk melewati serat optik agar bagian yang terkupas dapat berada di dalam kaleng, sementara kedua ujungnya berada di luar balok yang kemudian akan dihubungkan ke BF5R-D1-N saat proses pengambilan data dilakukan.



Gambar 2. Skema alat percobaan dengan detektor BF5R-D1-N

B. Tahap Pengujian Sistem Suhu dan Stabilitas Alat

Pada tahapan awal, digunakan *heat blower* sebagai sumber panas. *Heat blower* yang digunakan dapat disetting temperatur dan besar hembusannya sesuai dengan laju perubahan panas yang diinginkan. Termokopel digunakan sebagai alat ukur suhu yang diletakkan di dalam kaleng, sehingga perubahan suhu yang terukur adalah suhu di dalam kaleng. Tingkat ketelitian termokopel tipe k ini adalah $0,1^\circ\text{C}$, yang artinya termokopel dapat membaca setiap perubahan suhu $0,1^\circ\text{C}$ di dalam kaleng.

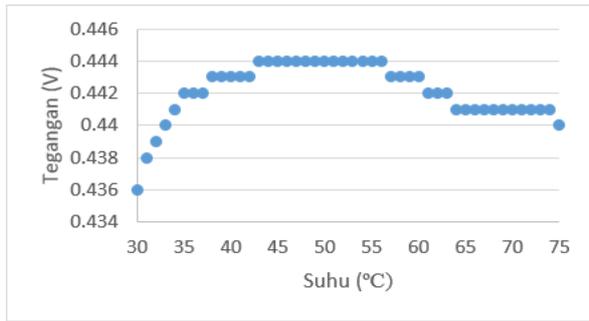
Pengujian suhu dilakukan dengan memasukkan ujung *heat blower* ke lubang yang terdapat pada kotak *styrofoam* dan menekan tombol on pada *heat blower*. Selanjutnya diatur temperatur dengan memutar probe ke arah kanan untuk menaikkan suhu.

Pengujian stabilitas detektor silikon dan multimeter dilakukan dengan meletakkan serat optik yang tidak dikupas di dalam sistem, kemudian dibiarkan selama 60 menit tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas. Jika tidak terdapat perubahan tegangan, maka dapat dikatakan detektor silikon dan multimeter stabil dan dapat digunakan pada penelitian. Setelah pengujian suhu dan stabilitas alat selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan serat optik dengan variasi panjang kupasan dan dipanaskan mulai suhu 30°C hingga 75°C .

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

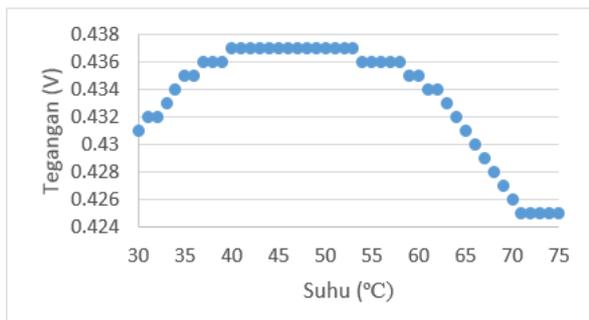
C. Analisa Pengaruh Variasi Panjang Kupasan terhadap Perubahan Suhu

Berikut ini merupakan grafik yang membandingkan antara tegangan keluaran yang terbaca pada multimeter dengan perubahan suhu mulai dari 30°C hingga 75°C serta variasi panjang kupasan *jacket* dan *cladding* 50, 60, 70, dan 80 mm :

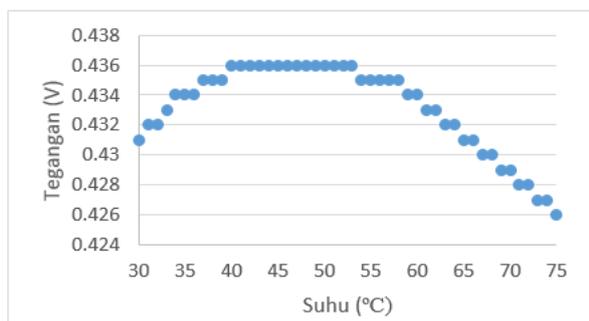


Gambar 3. Grafik hubungan suhu dengan tegangan keluaran pada panjang kupasan 50 mm.

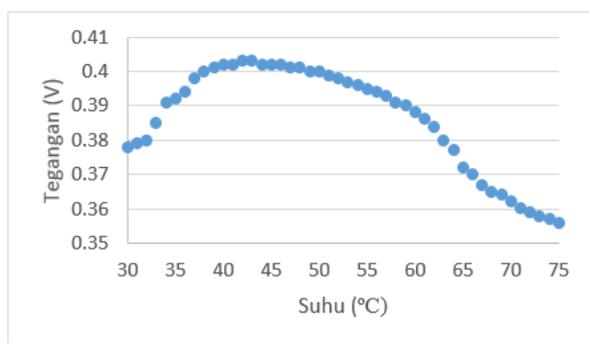
Pada gambar 3 terlihat bahwa pada panjang kupasan 50 mm ini, perubahan tegangan yang sangat kecil (< 0,1 mV) tidak dapat terbaca pada multimeter untuk setiap kenaikan suhu sebesar 1°C. Pada rentang suhu 43°C sampai 55°C tidak terdeteksi adanya perubahan tegangan yang lebih besar dari 0,1mV sehingga tegangan yang terbaca pada multimeter tetap. Kemudian terjadi penurunan nilai tegangan menjadi 0,443 V pada suhu 56°C sampai 59°C dan pada rentang suhu 64°C sampai 74°C nilai tegangannya menjadi 0,441 V.



Gambar 4. Grafik hubungan suhu dengan tegangan keluaran pada panjang kupasan 60 mm.



Gambar 5. Grafik hubungan suhu dengan tegangan keluaran pada panjang kupasan 70 mm.



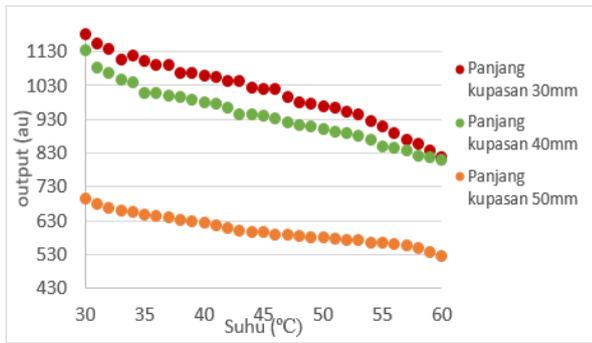
Gambar 6. Grafik hubungan suhu dengan tegangan keluaran pada panjang kupasan 80 mm.

Serat optik dengan kupasan terpanjang yaitu 80 mm, yang ditunjukkan pada gambar 6 mengalami penurunan nilai tegangan untuk setiap kenaikan suhu 1°C dimulai dari suhu 42°C. Sensitivitas serat optik ini adalah yang paling baik diantara ketiga serat optik lainnya, karena serat optik dengan panjang kupasan 80 mm ini mampu mendeteksi adanya perubahan suhu 1°C yang ditunjukkan dengan nilai tegangan yang semakin menurun seiring dengan kenaikan suhu.

Gambar 3, 4, 5, dan 6 di atas menunjukkan nilai perubahan tegangan saat terjadi perubahan (kenaikan) suhu di daerah sekitar kupasan *jacket* dan *cladding* serat optik. Pemberian panas dilakukan dengan mengatur temperatur pada *heat blower* serta mengatur *air control*. *Air control* berfungsi untuk mengatur besar kecilnya udara panas yang akan dihembuskan. Untuk menghindari adanya aliran panas fluida yang mengenai daerah kupasan serat optik, maka bagian serat optik yang terkupus dilindungi oleh kaleng agar perpindahan panas yang terdapat pada bagian dalam kaleng terjadi secara konduksi.

Pada gambar 3, 4, 5, dan 6 terlihat bahwa hubungan tegangan keluaran terhadap kenaikan suhu cenderung menurun. Pada gambar 3 dengan panjang kupasan 50 mm, pada rentang suhu 43°C sampai 55°C tidak terjadi perubahan nilai tegangan yang lebih besar dari 0,1mV. Hal tersebut tidak terjadi pada gambar 6 (panjang kupasan 80 mm) dimana pada rentang suhu 43°C sampai 55°C terdapat perubahan nilai tegangan yang semakin menurun. Pada gambar 4, perubahan nilai tegangan tidak terdeteksi oleh multimeter pada beberapa rentang suhu yaitu pada 40°C - 53°C, 54°C - 58°C, dan 70°C - 75°C. Perubahan nilai tegangan yang tidak terdeteksi oleh multimeter ini dapat terjadi karena beberapa hal diantaranya : kurang ratanya kupasan pada daerah *cladding* serat optik dikarenakan proses pengupasan yang dilakukan secara manual sehingga ada kemungkinan terdapat perbedaan tebal kupasan dalam skala mikro, daerah kupasan yang pendek sehingga hanya sedikit bagian dari *core* serat optik yang terpengaruh atau mengalami kontak langsung dengan suhu di sekitarnya, serta keterbatasan kemampuan multimeter untuk mendeteksi perubahan tegangan sehingga ada kemungkinan terjadinya perubahan tegangan yang lebih kecil dari 0,1mV yang tidak mampu terdeteksi oleh multimeter. Berdasarkan beberapa faktor tersebut dapat dikatakan bahwa serat optik dengan panjang kupasan 50 mm memiliki sensitivitas yang paling rendah terhadap perubahan suhu, yang ditunjukkan dengan tidak adanya perubahan nilai tegangan yang terdeteksi pada beberapa rentang suhu.

Pengukuran dengan BF5R-D1-N dilakukan pada serat optik dengan panjang kupasan 30, 40, 50, 60, 70, dan 80 mm. Pada panjang kupasan di atas 50 mm, BF5R-D1-N tidak dapat merespon perubahan intensitas cahaya dengan baik, yang ditandai dengan ketidakkonsistenan angka yang ditampilkan. Angka yang muncul menjadi acak dan tidak menunjukkan pola naik atau turun. BF5R-D1-N sangat sensitif terhadap hal-hal yang mempengaruhi berubahnya intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh serat optik, termasuk suhu dan panjang kupasan. Pengaruh panjang kupasan terhadap kenaikan suhu setiap 1°C secara lengkap disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini :



Gambar 7. Grafik hubungan suhu dengan intensitas cahaya keluaran pada panjang kupasan 30 mm, 40 mm, dan 50 mm.

Gambar 7 di atas menunjukkan pengaruh variasi panjang kupasan pada serat optik plastik terhadap perubahan suhu. Pada suhu awal yang sama yaitu 30°C, ketiga panjang kupasan menunjukkan intensitas yang berbeda-beda. Intensitas tertinggi ditunjukkan pada grafik dengan panjang kupasan 30 mm, sementara intensitas terendah ditunjukkan oleh grafik dengan panjang kupasan 50 mm. Perbedaan nilai intensitas ini disebabkan oleh adanya sinar yang bocor dalam proses transmisi, yang besarnya bergantung pada panjang kupasan *jacket* dan *cladding*. Semakin panjang kupasannya, semakin banyak sinar yang bocor, sehingga semakin sedikit cahaya yang ditangkap oleh fotodetektor pada BF5R-D1-N dan mengakibatkan nilai intensitas yang ditampilkan menjadi rendah.

Saat suhu pada kaleng naik, kalor akan berpindah secara konduksi menuju ke serat optik, sehingga pada termokopel terdeteksi adanya kenaikan suhu. Saat terjadi kenaikan suhu, ketiga serat optik dengan panjang kupasan berbeda akan memiliki respon yang berbeda pula. Adanya respon yang berbeda tersebut dapat dilihat melalui beda intensitas awal (saat suhu 30°C) dan akhir (saat suhu 60°C). Beda intensitas awal dan akhir pada panjang kupasan 30, 40, dan 50 mm berturut-turut adalah 365 au, 326 au, dan 169 au. Serat optik dengan panjang kupasan 30 mm memiliki beda intensitas yang paling besar, sehingga dapat dikatakan memiliki sensitivitas yang paling tinggi diantara ketiganya. Namun ketiganya memiliki respon yang baik terhadap kenaikan suhu, dimana ketiga serat optik mampu mendeteksi adanya kenaikan suhu setiap 1°C yang ditandai dengan terjadinya penurunan intensitas.

Pada panjang kupasan 50 mm dilakukan dua kali pengukuran yaitu dengan multimeter dan BF5R-D1-N. Pada pengukuran dengan menggunakan multimeter (gambar 3), terlihat pada beberapa rentang suhu, serat optik tidak mengalami penurunan nilai tegangan sehingga dapat dikatakan bahwa kepekaan multimeter untuk panjang kupasan 50 mm adalah kurang. Hal yang berbeda ditunjukkan pada gambar 4.6 untuk serat optik dengan panjang kupasan 50mm, dimana pengukuran dilakukan dengan menggunakan BF5R-D1-N. Pada grafik terlihat bahwa nilai intensitas selalu menurun seiring dengan kenaikan suhu. Kedua alat ukur ini memiliki *output* yang berbeda, namun keduanya sama-sama dapat digunakan untuk mengetahui adanya *loss* akibat adanya perubahan suhu di sekitar daerah kupasan pada serat optik. Pada multimeter, adanya *loss* ditandai dengan menurunnya tegangan yang terbaca pada layar multimeter, sedangkan pada BF5R-D1-N, *loss* terdeteksi

dengan menurunnya nilai intensitas yang terbaca pada layar BF5R-D1-N. Berdasarkan fakta tersebut, dapat dikatakan bahwa pada panjang kupasan 50 mm, BF5R-D1-N mampu merespon terjadinya *loss* lebih baik dari multimeter. Namun multimeter memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan BF5R-D1-N, yaitu nilai tegangan yang tidak mudah berubah (lebih stabil) sehingga ketelitian dalam membaca tegangan output jauh lebih baik dibandingkan dengan BF5R-D1-N yang nilainya selalu berubah-ubah.

D. Analisa Pengaruh Kenaikan Suhu terhadap Loss pada Serat Optik Plastik

Dalam penelitian ini digunakan serat optik multimode berbahan plastik. Plastik merupakan material yang akan mengalami perubahan susunan materi saat diberi suhu panas. Pemberian energi kalor pada serat optik plastik akan menyebabkan partikel penyusunnya bergetar dan akan saling bertumbukan (acak) sehingga antar partikel saling menjauhi. Semakin tinggi suhu yang diberikan pada serat optik, energi kalor yang dihasilkan juga semakin besar, sehingga susunan partikelnya menjadi semakin acak dan semakin renggang. Ketidakteraturan susunan partikel inilah yang menyebabkan perjalanan sinar di dalam *core* menjadi terhambat. Sinar yang terhambat akibat acaknya susunan partikel ini kemudian mengalami peristiwa difraksi atau pelenturan, sesuai dengan sifat gelombang cahaya. Adanya peristiwa difraksi ini mengakibatkan sebagian sinar dibiaskan menuju ke *cladding* dan hanya sebagian sinar yang masih terpandu di dalam *core*. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya pelemahan sinar yang tertangkap pada detektor, atau biasa disebut dengan rugi daya.

Pemberian suhu panas pada daerah *core* serat optik juga akan menyebabkan terjadinya pemuaian panjang. Besarnya pemuaian panjang pada penelitian ini bergantung pada dua hal, yaitu besar kenaikan suhu serta panjang kupasan *cladding* dan *jacket*. Sesuai dengan persamaan pemuaian panjang yang menyatakan bahwa besar pemuaian panjang sebanding dengan besar perubahan suhu. Semakin besar perubahan suhunya, semakin panjang pula *core* akan memuai. Begitu pula dengan pengaruh panjang kupasan *jacket* dan *cladding*, semakin panjang daerah yang dikupas, berarti bahwa semakin luas permukaan *core* yang terkena kontak langsung dengan suhu panas, sehingga pemuaian yang terjadi juga semakin besar. Adanya pemuaian pada bagian *core* menyebabkan terjadinya penurunan nilai indeks bias *core*. Sesuai dengan Hukum Snellius tentang pembiasan, apabila cahaya datang dari medium dengan indeks bias yang lebih rapat (n_{core}) menuju ke medium yang kurang rapat ($n_{cladding}$) maka cahaya akan dibiaskan menjauhi garis normal. Apabila nilai indeks bias *core* berubah menjadi lebih kecil akibat adanya pemuaian, maka akan mengakibatkan mengecilnya sudut bias. Hal ini tentu akan mempengaruhi besarnya sudut kritis. Semakin kecil indeks bias *core*, semakin kecil pula sudut biasnya, sehingga nilai sudut kritis akan menjadi semakin besar. Telah diketahui bahwa salah satu syarat terjadinya pemantulan dalam total adalah nilai sudut datang harus lebih besar dari sudut kritisnya ($\theta_i > \theta_c$). Jika nilai sudut kritis semakin besar, maka kemungkinan sinar yang mengalami pemantulan dalam total akan semakin sedikit, karena hanya sinar dengan sudut datang yang lebih besar

dari sudut kritis baru inilah yang dapat terpandu, sedangkan sinar dengan sudut datang lebih kecil dari sudut kritis baru akan dibiaskan keluar menuju *cladding*. Sinar yang dibiaskan akibat tidak memenuhi syarat terjadinya pemantulan dalam total inilah yang menyebabkan adanya *loss* pada proses transmisi di dalam serat optik. Semakin besar *loss* yang terjadi, semakin kecil sinar yang ditangkap oleh detektor, sehingga tegangan yang terbaca nilainya kecil.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu di daerah *sensing*, semakin besar *loss* yang terjadi akibat adanya pemuaian termal yang menyebabkan penurunan indeks bias *core*. Detektor silikon mampu mendeteksi perubahan intensitas cahaya dan bekerja optimal pada serat optik dengan panjang kupasan 80 mm dan tidak mampu mendeteksi perubahan tegangan pada serat optik dengan panjang kupasan dibawah 50 mm. BF5R-D1-N dapat merespon perubahan intensitas cahaya dan bekerja optimal pada serat optik dengan panjang kupasan 30 mm, dan tidak mampu merespon perubahan intensitas dengan baik pada panjang kupasan diatas 50 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Puspita Fahmi Ariani mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, kedua orang tua dan adik penulis, dosen pembimbing Tugas Akhir, serta teman-teman penulis yang telah memberikan kelancaran, dukungan, dan motivasi kepada penulis dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Widiyana, "Perancangan Sensor Serat Optik untuk Pengukuran Pergeseran Obyek dalam Orde Mikrometer Menggunakan Serat Optik *Multimode*," Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika-FTI-ITS, Surabaya, 2010.
- [2] Sujito, "Pengaruh Perubahan Temperatur Terhadap Rugi Daya Serat Optik *Singlemode* SMF-28," Prosiding simposium fisika nasional xxv, Jurusan Fisika-FMIPA-Universitas Negeri Malang, Malang, 2012.
- [3] Yunifar, R. I., "Analisis Pengaruh perubahan Suhu dan Perubahan Panjang Kupasan *Cladding* serta *Jacket* Terhadap Rugi Daya yang Dihasilkan oleh Fiber Optik *Multimode* Silika Tipe G-651," Tugas Akhir, Jurusan Fisika-FMIPA-ITS, Surabaya, 2015.
- [4] Agrawal, Govind P., *Fiber Optic Communication Systems*. University of Rochester : John Wiley&Sons, 2002.
- [5] Keiser,G. *Optical Fiber Communication*. United States of America, 1984.
- [6] Bestariyan, T., "Rancang Bangun Sensor Suhu Menggunakan Serat Optik Berstruktur Singlemode - Multimode-Singlemode dan OTDR," Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika-FTI-ITS, Surabaya, 2011.
- [7] Arifin, "Perkembangan Sensor Regangan dan Pergeseran Berbasis Serat Optik," Disertasi, Jurusan Fisika-FMIPA-ITS, Surabaya, 2015.