

**RANCANG BANGUN SENSOR BEBAN BERBASIS
SERAT OPTIK *SINGLEMODE-MULTIMODE-
SINGLEMODE* MENGGUNAKAN *HIGH DENSITY
POLYETHYLENE* SEBAGAI MATERIAL PENAHAN
BEBAN**

NAMA : IKA PUSPITA
NRP : 2410 100 098
JURUSAN : TEKNIK FISIKA
DOSEN PEMBIMBING :- Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc
- Agus Muhamad Hatta, ST, M.Si, Ph.D

ABSTRAK – Sensor beban sangat diperlukan pada sebuah sistem pengukuran beban pada sektor industri dan transportasi. Salah satu jenis sensor beban yang saat ini sedang dikembangkan adalah sensor beban berbasis serat optik. Sensor berbasis serat optik memiliki kelebihan yaitu, murah, fabrikasi mudah, dan memiliki sensitivitas tinggi. Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat sensor beban yang berbasis serat optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) *graded index* secara teoritis dan eksperimental. Material yang digunakan sebagai penahan beban *High Density Polyethylene* (HDPE). Sensor terdiri dari dua lapisan (lapisan atas dan bawah) yang terbuat dari bahan polimer HDPE. Masing-masing lapisan tersebut memiliki dimensi 20x10x1 cm dan serat optik SMS ditanam pada polimer lapisan bawah. Pengujian performansi sensor dilakukan dengan cara mengukur perubahan daya keluaran serat optik berstruktur SMS akibat adanya perubahan beban yang diberikan. Sensor yang dirancang mempunyai linieritas pada rentang beban 1765,2-3922,8 N. Sensitivitas sensor sebesar $1,18 \times 10^{-3}$ dBm/N dan resolusi sebesar 4,2 N.

Kata Kunci— *Singlemode-Multimode-Singlemode*, HDPE, Sensor beban, Serat optik

Halaman ini memang kosong

***DESIGN AND DEVELOPMENT OF A LOAD
SENSOR BASED ON SINGLEMODE-MULTIMODE-
SINGLEMODE FIBER STRUCTURE AND A HIGH
DENSITY POLYETHYLENE AS THE LOAD
SUPPORTING MATERIAL***

NAME : IKA PUSPITA
NRP : 2410 100 098
DEPARTMENT : ENGINEERING PHYSICS
SUPERVISOR :- Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc
- Agus Muhamad Hatta, ST, M.Si, Ph.D

ABSTRACT – *A Load sensor is very important for load measurement system in industry and transportation sectors. One type of prospective load sensor is optical fiber-based load sensor. Optical fiber-based load sensors have advantages such as cheap, ease in fabrication, and have good sensitivity. In this work, load dependency of Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS) fiber structure with a multimode fiber graded index type is investigated theoretically and experimentally. A High Density Polyethylene (HDPE) as the load supporting material is used. The SMS fiber structure is sandwiched between the laminate of HDPE with a dimension 20x10x1 cm. The power output of SMS fiber structured was measured due to the applied load. It is shown that the sensor has a good linearity of range 1765,2 – 3922,8 N, sensitivity of $1,18 \times 10^{-3}$ dBm/N and resolution of 4,2 N.*

Keyword— *Singlemode-Multimode-Singlemode, HDPE, Load sensor, optical fiber.*

Halaman memang kosong

DAFTAR SIMBOL

- A adalah luasan yang menerima gaya
 α adalah radius serat optik
E adalah modulus Young, yang juga disebut modulus elastisitas
F adalah gaya
 F_f adalah beban yang dialami serat optik
g adalah konstanta gravitasi
 $2L_0$ adalah lebar permukaan massa
L adalah panjang HDPE
 L_f adalah panjang serat optik
M adalah massa yang diberikan
 n_1 adalah indeks bias *core*
 n_2 adalah indeks bias *cladding*
 n_i adalah indeks bias *core* atau *cladding*
 p_{11} dan p_{12} adalah koefisien *strain* optik
 p_e adalah koefisien *strain* serat optik efektif
 P_0 adalah densitas gaya yang diberikan
 P_1 adalah densitas gaya reaksi pada permukaan bawah
 P_1' adalah densitas gaya yang diterima oleh lapisan kedua.
 P_2 adalah densitas gaya reaksi pada permukaan bawah lapisan kedua lapisan pertama
R adalah radius serat optik.
 Δl adalah perubahan panjang
l adalah panjang awal
 Δw adalah perubahan lebar
w adalah lebar awal
 ε adalah regangan
 ε_0 adalah regangan awal
 λ adalah panjang gelombang

$\pi = 3, 14$

σ_t adalah tegangan pada saat t

σ adalah tegangan normal

τ adalah tegangan geser

s adalah resultan dari tegangan normal dan tegangan geser

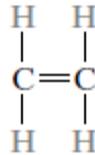
ν adalah rasio Poisson

BAB II TEORI PENUNJANG

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai beberapa teori penunjang dalam pembuatan sensor beban menggunakan serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS).

2.1 Polimer

Polimer merupakan material yang terdiri dari rantai hidrokarbon yang terikat secara kovalen. Unsur karbon mempunyai 4 elektron yang digunakan untuk membuat ikatan kovalen. Sebagai contoh etilen (*ethylene*) mempunyai rumus molekul C_2H_4 , unsur karbon membuat ikatan kovalen dengan unsur hidrogen dan membuat ikatan kovalen rangkap dengan unsur karbon yang lainnya (gambar 2.1) (Callister, 2009).

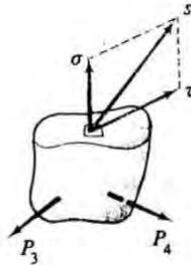


Gambar 2.1. Contoh rantai hidrokarbon pada *ethylene* (Sumber: Callister, 2009).

Respon polimer terhadap gaya mekanik pada temperatur yang berubah-ubah berhubungan dengan struktur molekul yang dominan pada polimer tersebut. Klasifikasi polimer terhadap kenaikan temperatur terbagi menjadi polimer termoplastik dan termoset. Polimer termoplastik secara struktural memiliki rantai linier dan bercabang. Contohnya adalah HDPE dan LDPE. HDPE umumnya memiliki rantai utama linier dan mempunyai sedikit cabang pada rantai utama sehingga meningkatkan kekuatan (*strength*) dari HDPE. Sedangkan LDPE memiliki rantai yang bercabang. Hal ini berbeda dengan polimer termoset yang memiliki rantai *crosslinked* dan *network* (Smith, 1990).

2.1.1 Mekanika Polimer

Polimer merupakan material yang akan menunjukkan perilaku elastis dan viskos pada temperatur dan pembebanan tertentu (Painter dan Coleman, 1997). Pada sub bab selanjutnya akan dijelaskan mengenai viskoelastisitas dari polimer. Perilaku elastis dari sebuah material berhubungan dengan gaya yang dialami oleh material tersebut. Gaya yang dialami oleh material pada luas tertentu disebut dengan tegangan, umumnya akan bervariasi besar serta arahnya. Uraian gaya yang dialami oleh suatu material dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Uraian gaya yang terjadi pada sebuah material
(Sumber: Bahan ajar mekanika, 2011)

σ adalah tegangan normal, τ adalah tegangan geser dan s adalah resultan dari tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan yang dialami oleh suatu material pada luasan tertentu dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

dimana:

F adalah gaya

A adalah luasan yang menerima gaya

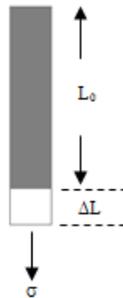
Tegangan yang dialami oleh suatu material akan menghasilkan regangan ϵ (gambar 2.3). Regangan terjadi pada suatu material ditentukan melalui persamaan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.2)$$

dimana:

Δl adalah penambahan panjang

l adalah panjang mula-mula.



Gambar 2.3. Material yang mengalami regangan (Sumber: Painter dan Coleman, 1997)

Menurut Hooke, pada daerah elastis suatu material, pertambahan panjang dari material sebanding dengan beban yang dikenakan pada material tersebut. Kemudian oleh Young dituliskan sebagai:

$$\frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} = \text{konstan} \quad (2.3)$$

dimana konstanta tersebut merupakan karakteristik dari material. Pada eksperimen sederhana seperti gambar 2.3 dapat dituliskan hukum Hooke sebagai:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.4)$$

dimana:

E adalah modulus Young, yang juga disebut modulus elastisitas

ε adalah regangan (*strain*)

Ketika sebuah material ditarik, maka tidak hanya bertambah panjang pada arah yang searah dengan tegangan tetapi juga akan berkurang lebarnya pada arah yang tegak lurus dengan tegangan seperti pada gambar 2.4. Besarnya pertambahan panjang dan pengurangan lebar adalah sebanding dan proporsional. Perbandingan pertambahan panjang terhadap panjang awal dengan pengurangan lebar terhadap lebar awal disebut dengan rasio Poisson, ν . Rasio Poisson dituliskan sebagaimana persamaan berikut:

$$\nu = \frac{\frac{\Delta w}{w}}{\frac{\Delta l}{l}} \quad (2.5)$$

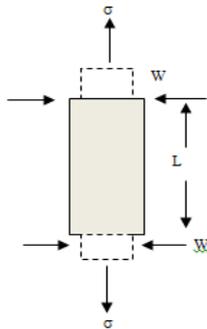
dimana:

Δw adalah perubahan lebar

w adalah lebar awal

Δl adalah perubahan panjang

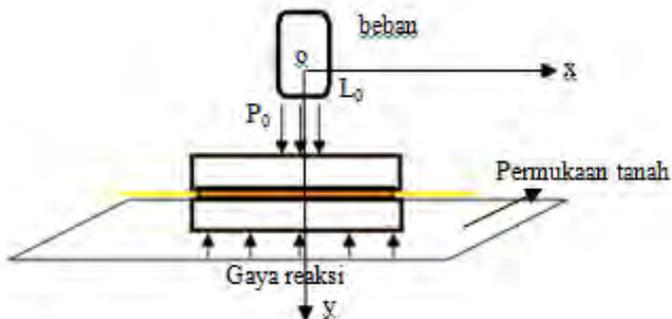
l adalah panjang awal



Gambar 2.4. Pengurangan lebar yang tegak lurus dengan pertambahan panjang (Sumber: Painter dan Coleman, 1997)

L adalah panjang awal dan W adalah lebar awal dari material sebelum diberi tegangan sebesar σ . W_i adalah lebar material setelah diberi tegangan.

Sensor beban yang dirancang berbentuk laminar (berlapis), yang terdiri dari 2 lapisan pelat HDPE (lapisan atas dan lapisan bawah) dengan serat optik ditanam pada pelat HDPE lapisan bawah, seperti diilustrasikan pada gambar 2.5. HDPE digunakan untuk memperkuat kekuatan serat optik SMS sepanjang axis dari serat optik karena pada arah sepanjang axis dari serat optik yang akan diperhatikan. Arah yang paralel dengan serat optik disebut dengan arah longitudinal dan arah yang tegak lurus dengan serat optik disebut arah transversal.



Gambar 2.5. Serat optik SMS ditanam pada *polyethylene*

Polimer yang digunakan adalah *polyethylene* yang homogen dalam karakteristik dan masing-masing lapisan mempunyai ketebalan yang sama. Misalkan massa yang diukur adalah M . Diasumsikan bahwa gaya yang bekerja adalah secara transversal pada bagian tengah dari pelat HDPE dan homogen pada lebar permukaan massa yang diberikan $2L_0$. Panjang total dari pelat HDPE adalah $2L$. Jika koordinat pembebanan yang ditentukan adalah di bagian tengah, maka menurut Wang, densitas gaya dapat ditentukan dengan persamaan:

$$P_0 = \frac{Mg}{2L_0} \quad (2.6)$$

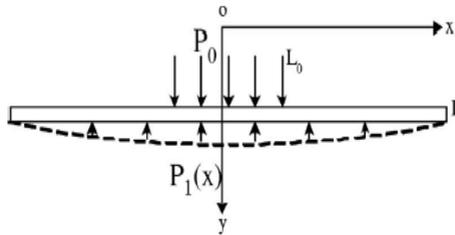
dimana:

M adalah massa yang diberikan

g adalah konstanta gravitasi

$2L_0$ adalah lebar permukaan massa

Dalam merespon gaya transversal pelat akan mengalami deformasi seperti pada gambar 2.6. Pada bagian permukaan atas HDPE lapisan atas terdapat gaya aksi P_0 dan gaya reaksi dari permukaan bawah $P_1(x)$.



Gambar 2.6. Gaya yang bekerja pada polimer lapisan pertama
(sumber: Wang, 2006)

Sesuai dengan Hukum Hooke, *longitudinal stress* dan *strain* didapatkan dengan persamaan (Wang, 2006) :

$$\sigma_1 = \int_0^L \frac{[P_0 - P_1(x)]}{vA} dx \quad (2.7)$$

$$\varepsilon_1 = \int_0^L \frac{\sigma_1(x)}{E} dx \quad (2.8)$$

dimana:

L adalah panjang HDPE

P_0 adalah densitas gaya yang diberikan

P_1 adalah densitas gaya reaksi pada permukaan bawah lapisan pertama

ν adalah rasio Poisson

A adalah luas permukaan

Pada lapisan kedua, gaya-gaya yang bekerja seperti diilustrasikan pada gambar 2.7, sehingga *longitudinal stress* dan *strain* pada lapisan kedua didapatkan melalui persamaan:

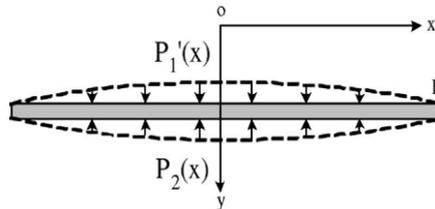
$$\sigma_2 = \int_0^L \frac{[P_1'(x) - P_2(x)]}{\nu A} dx \quad (2.9)$$

$$\varepsilon_2 = \int_0^L \frac{\sigma_2(x)}{E} dx \quad (2.10)$$

dimana:

P_1' adalah densitas gaya yang diterima oleh lapisan kedua.

P_2 adalah densitas gaya reaksi pada permukaan bawah lapisan kedua



Gambar 2.7. Gaya yang bekerja pada polimer lapisan kedua (sumber: Wang, 2006)

Dari persamaan (2.7) sampai (2.10), *strain* yang terjadi pada sistem didapatkan dengan persamaan:

$$\varepsilon_L = \frac{2P_0L_0}{(n+1)AE\nu} \quad (2.11)$$

dimana:

$n = 1, 2, 3, \dots$

Dari persamaan (2.6) dan (2.11) didapatkan persamaan:

$$\varepsilon_L = \frac{Mg}{(n+1)AEV} \quad (2.12)$$

2.1.2 Polimer Viskoelastis

Dalam beberapa kondisi, polimer akan berperilaku dalam keadaan viskoelastis ketika diberi beban. Perilaku viskoelastik bergantung pada waktu dan temperatur. Perilaku ini dipelajari menggunakan teknik *stress relaxation*.

Stress yang menyebabkan *strain* ε_0 akan berkurang seiring waktu akibat dari relaksasi molekular. Modulus relaksasi pada keadaan viskoelastis didapatkan melalui persamaan:

$$E_t = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_0} \quad (2.13)$$

dimana:

σ_t adalah tegangan pada saat t

ε_0 adalah regangan awal

Komponen *viscous strain* selalu naik sepanjang pembebanan. Jika komponen ini mendominasi melebihi komponen elastik, maka *overall strain* akan tetap naik meskipun beban telah dihilangkan (Smallman, 2007).

2.2 Serat Optik

Pemanduan gelombang optik adalah sebuah pemanduan berkas cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Pemanduan cahaya tersebut memerlukan medium yang mempunyai indeks bias yang berbeda. Salah satu contoh pemanduan cahaya adalah pemanduan cahaya menggunakan serat optik (Ghatak dan Thyagarajan, 1997).

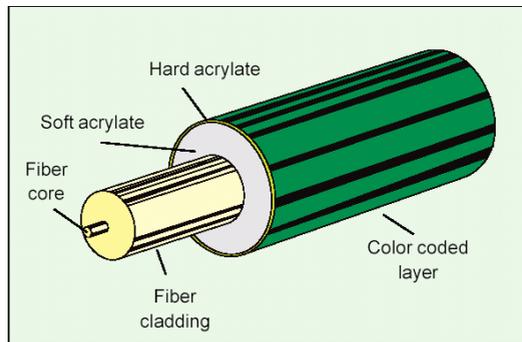
Serat optik merupakan sebuah pemanduan gelombang dielektrik yang bekerja pada frekuensi optik. Satu paket gelombang elektromagnetik yang terpandu disebut dengan moda (Keiser, 2000). Serat optik terdiri atas *core*, *cladding*, dan selubung dengan warna tertentu seperti pada gambar 2.8

(Thyagarajan, 2007). *Core* dan *cladding* memiliki indeks bias yang berbeda. Untuk dapat memandu gelombang agar tetap berada di dalam serat optik, indeks bias *core* harus lebih besar dari indeks bias *cladding*. Hubungan indeks bias *core* dan *cladding* dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\begin{aligned} n(r) &= n_1 & 0 < r \leq a \\ &= n_2 & r > a \end{aligned} \quad (2.14)$$

dimana:

a adalah radius *core*



Gambar 2.8. Serat optik (Sumber: Thyagarajan, 2007)

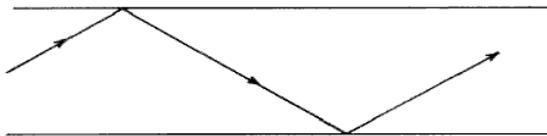
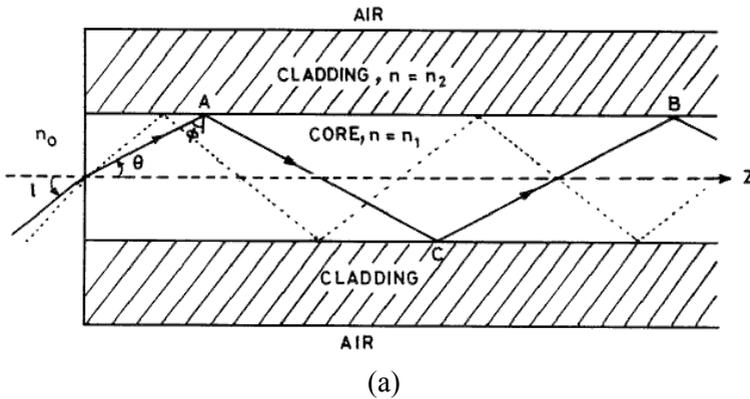
Untuk dapat memandu cahaya, perlu dipertimbangkan sinar yang masuk ke dalam serat optik seperti pada gambar 2.9 (a). Jika sudut sinar yang masuk ke serat optik lebih besar dari sudut kritis maka akan terjadi *Total Internal Reflection* (TIR). Sudut kritis adalah sudut datang dari yang mempunyai sudut bias sebesar 90° . Sudut sinar yang masuk ke serat optik dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\theta_i = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.15)$$

dimana:

n_1 adalah indeks bias *core*
 n_2 adalah indeks bias *cladding*

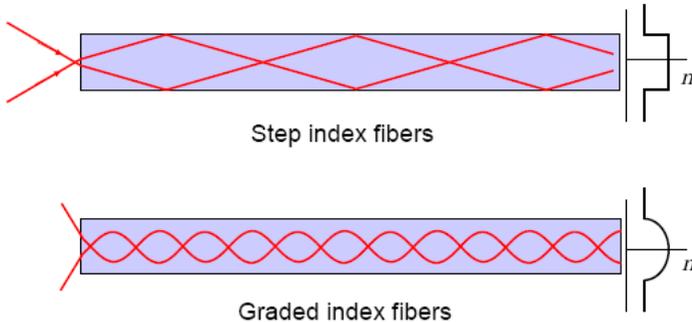
Serat optik menggunakan prinsip *Total Internal Reflection* (TIR) pada Hukum Snellius. Ilustrasi pemanduan cahaya pada serat optik seperti pada gambar 2.9 (b). Sinar-sinar cahaya yang akan memasuki serat optik harus mempunyai sudut datang yang tidak lebih dari *numerical aperture* (NA).



Gambar 2.9. (a) Prinsip *Total Internal Reflection*, (b) pemanduan cahaya pada serat optik (Sumber: Ghatak dan Thyagarajan, 1997)

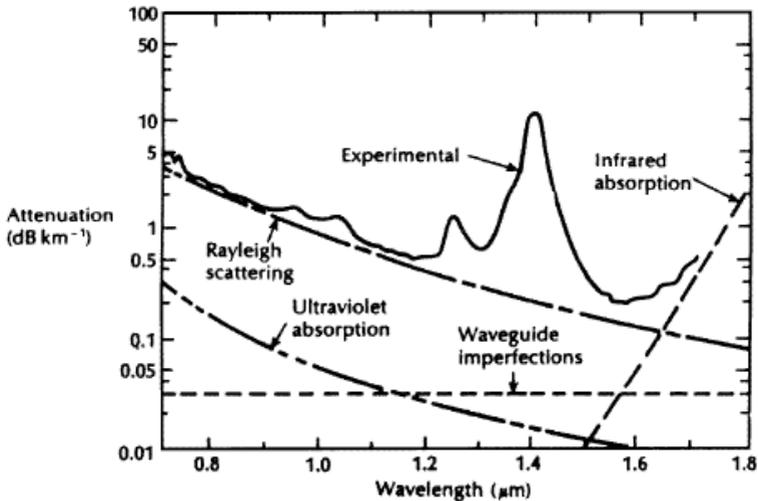
Berdasarkan banyaknya moda, serat optik dibagi menjadi dua, yaitu *singlemode* dan *multimode*. Serat optik *singlemode* hanya memandu satu moda saja. Diameter *core* berkisar $9 \mu\text{m}$. Serat optik *multimode* memandu lebih dari satu moda. Diameter *core* berkisar $50 - 62.5 \mu\text{m}$. Untuk serat optik *multimode* dibagi

berdasarkan indeks bias *core*, yaitu *step index* dan *graded index* (gambar 2.10). Serat optik *step index* mempunyai indeks bias *core* yang sama dari tepi sampai tengah. Serat optik *graded index* mempunyai indeks bias *core* berbeda dari tepi hingga tengah. Semakin ke tengah indeks bias *core* semakin besar.



Gambar 2.10. Serat optik *multimode* (Sumber: Thyagarajan, 2007)

Rugi daya pada pemanduan cahaya pada serat optik diakibatkan oleh beberapa hal, yaitu, *Rayleigh Scattering*, absorpsi akibat dari adanya impuritas, dan akibat adanya bending pada serat optik. Bending pada serat optik, dibedakan menjadi dua, yaitu makrobending dan mikrobending (Thyagarajan, 2007). Besarnya nilai rugi daya akibat *Rayleigh Scattering* dan absorpsi pada serat optik dapat dilihat pada gambar 2.11 (Ghatak dan Thyagarajan, 1997).



Gambar 2.11. Spektrum rugi daya yang terjadi pada serat optik (sumber: Ghatak dan Thyagarajan, 1997).

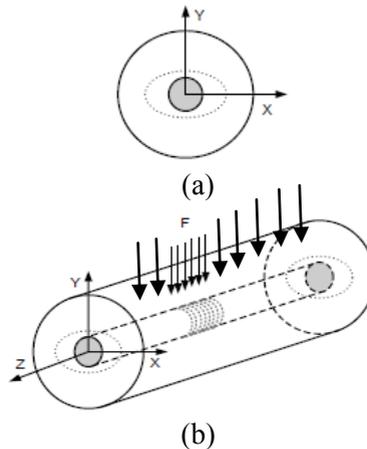
Dari gambar 2.11 dapat dilihat bahwa cahaya dengan panjang gelombang 1550 nm secara eksperimental memiliki atenuasi paling kecil akibat *Rayleigh Scattering*. Pada panjang gelombang 1550 nm atenuasi akibat absorpsi inframerah dan ultraviolet relatif kecil.

2.2.1 Mekanika Serat Optik

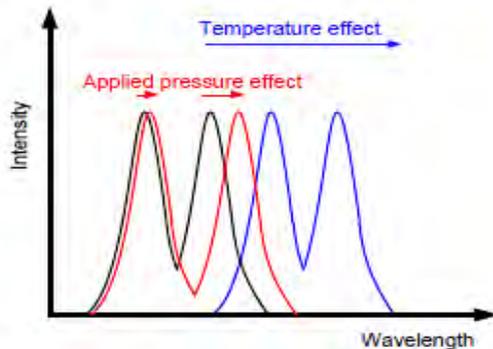
Serat optik yang digunakan terbuat dari bahan silika. Serat optik yang digunakan homogen dalam karakteristik. Ketika gaya mengenai serat optik secara transversal, maka respon yang terjadi pada serat optik ada dua kemungkinan, yakni luas penampang melintang serat optik menjadi berbentuk lonjong (*ellips*) atau serat optik mengalami deformasi.

Kemungkinan yang pertama adalah penampang melintang serat optik menjadi berbentuk lonjong. Kemungkinan ini terjadi jika gaya transversal yang mengenai serat optik terdistribusi *uniform*, seperti pada gambar 2.12. Hal ini menyebabkan ada 2

puncak pada intensitas cahaya yang keluar dari serat optik, seperti gambar 2.13 (Urban dkk, 2010).

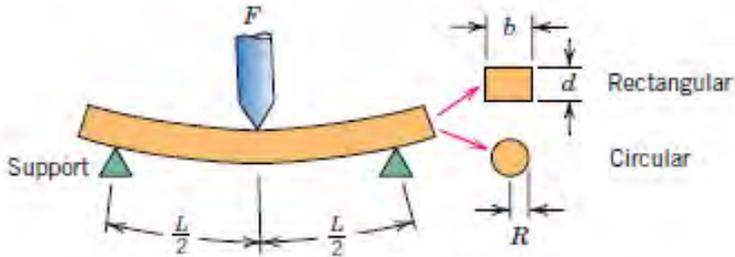


Gambar 2.12. (a) penampang melintang serat optik, (b) gaya transversal yang mengenai serat optik terdistribusi *uniform* (sumber: Urban, 2010).



Gambar 2.13. Respon dari serat optik saat diberi beban *uniform* (sumber: Urban, 2010).

Kemungkinan kedua adalah serat optik mengalami deformasi seperti gambar 2.14. Kemungkinan ini terjadi ketika gaya transversal yang mengenai serat optik terpusat di tengah, seperti gambar 2.14.



Gambar 2.14. Skema pembebanan *three-point* (sumber: Callister, 2009).

Sehingga, *flexural strength* dari serat optik:

$$\sigma_{fs} = \frac{F_f L}{\pi R^3} \quad (2.16)$$

dimana

F_f adalah beban yang dialami serat optik

L adalah panjang serat optik

R adalah radius serat optik.

$\pi = 3,14$

Ketika serat optik diberi gaya baik tekanan maupun tarikan serat optik akan mengalami perubahan indeks bias. Perubahan indeks bias pada serat optik akan mempengaruhi penjalaran moda pada serat optik. Perubahan indeks bias yang terjadi pada serat optik dapat dihitung menggunakan persamaan (Hatta dkk, 2010):

$$\Delta n = -\frac{n_i^3}{2} [p_{12} - \nu(p_{11} + p_{12})] \varepsilon = -p_e \varepsilon \quad (2.17)$$

dimana:

n_i adalah indeks bias *core* atau *cladding*

p_{11} dan p_{12} adalah koefisien *strain* optik

p_e adalah koefisien *strain* serat optik efektif.

Pada serat optik *multimode graded index*, profil indeks bias dapat dikarakterisasi dengan persamaan (Kumar, 2004):

$$n(r) = \begin{cases} n_{co} \left[1 - 2\Delta_m \frac{r^2}{a_m^2} \right]^{1/2} & ; r \leq a_m \\ n_{co} [1 - 2\Delta_m]^{1/2} & ; r > a_m \end{cases} \quad (2.18)$$

a_m adalah jari-jari *core* dan Δ_m adalah perbedaan indeks bias relatif, yang ditentukan dengan persamaan:

$$\Delta_m = \frac{n_{core}^2 - n_{cladding}^2}{2n_{core}^2} \quad (2.19)$$

2.2.2 Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS)

Serat optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) merupakan struktur serat optik yang terdiri dari sambungan serat optik *singlemode* di kedua ujung serat optik *multimode* secara aksial. Ilustrasi struktur serat optik SMS seperti pada gambar 2.15. Pada serat optik *multimode* terdapat peristiwa yang disebut dengan *Multimode Interference* (MMI). MMI juga terjadi pada serat optik berstruktur SMS. Moda yang masuk dari serat optik *singlemode* pada sambungan pertama akan membangkitkan moda-moda pada serat optik *multimode*. Moda-moda tersebut akan mengalami MMI. Fenomena yang menarik dari adanya MMI adalah terjadinya *self-imaging*. *Self-imaging* adalah interferensi konstruktif pada peristiwa MMI. Fenomena *self-imaging* akibat MMI dapat dipelajari menggunakan beberapa cara, yakni *Beam Propagation Method* (BPM), *hybrid method*, dan *Modal Propagation Analysis* (MPA). Dari beberapa cara tersebut, MPA merupakan *theoretical tool* yang komprehensif untuk menjelaskan fenomena *self-imaging*. Karena sambungan antara serat optik *singlemode* dan *multimode* diasumsikan tidak ada *misalignment*, maka hanya *lower order mode* saja yang dapat

dibangkitkan (Hatta, 2009). Moda fundamental dari serat optik *singlemode* dapat didekati dengan persamaan berikut,

$$\psi_s(r) = \sqrt{\frac{2}{\pi} \frac{1}{w_s}} e^{(-r^2/w_s^2)} \quad (2.20)$$

Dengan w_s adalah *Gaussian spot size* dari moda. Untuk serat optik step indeks dapat didekati dengan persamaan berikut,

$$\frac{w_s}{a_s} = \left[0,65 + \frac{1,619}{V_s^{3/2}} + \frac{2,879}{V_s^6} \right]; \quad 0,8 \leq V_s \leq 2,5 \quad (2.21)$$

a_s adalah jari-jari *core* dan V_s adalah *V-number* (Kumar, 2002). *V-number* dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.22)$$

dimana:

a adalah radius serat optik

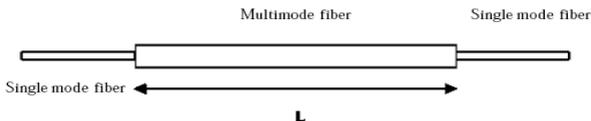
λ adalah panjang gelombang

n_1 adalah indeks bias *core*

n_2 adalah indeks bias *cladding*

Banyaknya moda yang dibangkitkan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$m = \frac{V^2}{2} \quad (2.23)$$



Gambar 2.15. Struktur Serat optik SMS (Sumber: Kumar dkk, 2003)

Perubahan *phase difference* linier dengan perubahan panjang gelombang, sehingga daya keluaran akan berubah secara periodik dengan panjang gelombang. Perubahan panjang gelombang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

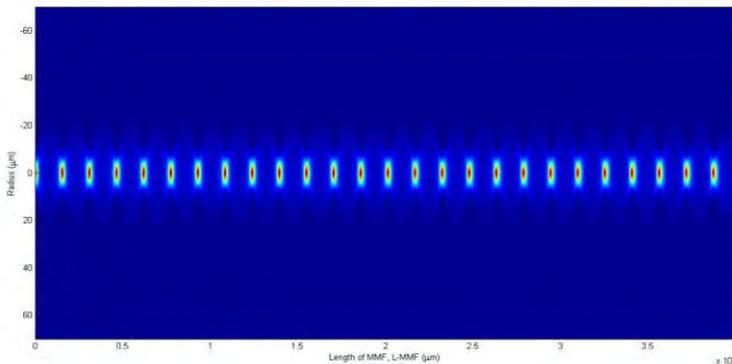
$$\Delta\lambda_{2\pi} = \frac{\pi^2 a_M^2 n_0}{2D_M L} \quad (2.24)$$

Dengan a_M adalah jari-jari *core*. D_M adalah perbedaan indeks bias *core* dan *cladding* relatif. (Kumar dkk, 2003).

Self-imaging terjadi pada jarak tertentu, yang akan berulang pada kelipatan jarak tersebut. *Self-imaging* yang terjadi pada serat optik berstruktur SMS pada bagian serat optik *multimode* dapat dilihat pada gambar 2.16. Letak terjadinya *self imaging* pada serat optik *multimode* dapat dihitung dengan persamaan:

$$L_i = \frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1} \quad (2.25)$$

β adalah konstanta propagasi dari moda yang terpandu (Morshed, 2011).



Gambar 2.16. *Self-imaging* pada serat optik *multimode graded index*.

Daya yang masuk dari serat satu ke serat yang lain melalui sambungan dapat dihitung dengan menggunakan integral *overlap* dari moda yang dipandu pada kedua serat tersebut (Kumar dkk, 2003). Daya (P_{sm}) yang keluar dari serat optik dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{sm} = \left| A_0^2 + A_1^2 e^{i(\beta_0 - \beta_1)L} + \dots \right|^2 \quad (2.26)$$

2.3 Sensor

Sensor adalah elemen pertama dalam sebuah sistem pengukuran. Sensor memberikan nilai keluaran yang merupakan fungsi dari besaran yang diukur, yang pada kebanyakan sensor adalah linier. Setiap sensor mempunyai karakteristik statis dan karakteristik dinamis (Morris, 2001). Macam-macam karakteristik sensor adalah sebagai berikut:

a. *Range* dan *Span*

Range didefinisikan sebagai nilai minimal dan maksimal *input* dan *output*, I_{min} , I_{max} , O_{min} , O_{max} (Morris, 2001). *Span* adalah maksimum variasi dari *input* dan *output*, $I_{max} - I_{min}$, $O_{max} - O_{min}$ (Bentley, 1995).

b. Linieritas

Linieritas adalah karakteristik ideal dari alat (Bentley, 1995). Sehingga, mempunyai persamaan:

$$O - O_{min} = \left[\frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right] (I - I_{min}) \quad (2.27)$$

c. Presisi dan *repeatability*

Presisi didefinisikan sebagai derajat kebebasan alat dari *error* acak. *Repeatability* merupakan kedekatan pembacaan *output* ketika diberi *input* yang sama secara berulang dalam waktu yang singkat (Morris, 2001).

d. Sensitivitas

Sensitivitas merupakan rasio perubahan *output*, ΔO terhadap perubahan *input* ΔI (Bentley, 1995). Sehingga, dalam pembacaan skala penuh mempunyai persamaan:

$$\text{Sensitivitas, \%} = \left[\frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right] \times 100\% \quad (2.28)$$

e. Histeresis

Histeresis merupakan selisih nilai *output* saat pengukuran naik dan turun pada *input* yang sama (Bentley, 1995). Histeresis biasa dinyatakan dalam pembacaan skala penuh, sehingga mempunyai persamaan:

$$\text{Histeresis, \%} = \left[\frac{H}{O_{max} - O_{min}} \right] \times 100\% \quad (2.29)$$

H adalah selisih nilai *output* saat pengukuran naik dan turun pada *input* yang sama.

f. Resolusi

Resolusi merupakan perubahan nilai *input* paling besar tanpa menyebabkan perubahan *output* (Morris, 2001).

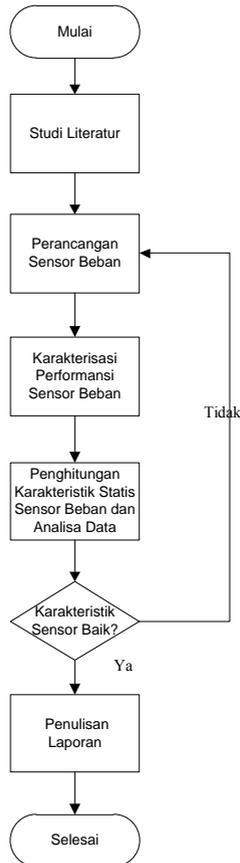
$$\text{Resolusi,} = \frac{\Delta I}{I_{max} - I_{min}} \quad (2.30)$$

ΔI adalah perubahan input.

Halaman ini memang kosong

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan hingga tujuan dapat tercapai. Pengerjaan tugas akhir ini meliputi studi literatur, perancangan dan pembuatan sensor beban, pengujian sensor beban, analisa data dan penyusunan laporan. Tahapan tersebut tergambar dalam diagram alir pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Alur proses tugas akhir

Tahapan pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan studi literatur. Studi literatur ini bertujuan untuk mengetahui dasar-dasar perancangan sensor dan memahami parameter-parameter yang dibutuhkan dalam melakukan perancangan sensor beban. Setelah diketahui parameter-parameter yang dibutuhkan dalam merancang sensor beban, dilakukan perancangan dengan menghitung nilai-nilai dari parameter yang dibutuhkan. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menentukan material yang akan digunakan. Kemudian dilakukan pengujian terhadap sensor beban yang dirancang dan dilakukan analisis terhadap hasil yang didapatkan serta mendapatkan karakteristik statis dari sensor yang dirancang. Jika karakteristik dari sensor yang dirancang baik, maka dapat dilanjutkan pada proses penulisan laporan. Jika tidak, maka dilakukan perancangan sensor beban kembali. Proses yang dilakukan pada pengerjaan tugas akhir ini akan dijelaskan lebih rinci pada sub bab – sub bab berikut.

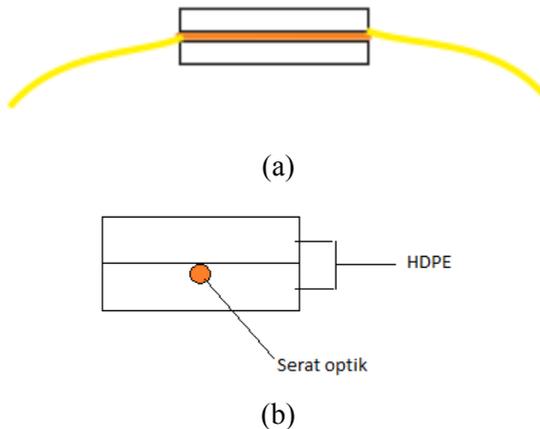
3.1 Perancangan Sensor Beban Secara Teori

Sensor beban yang akan dirancang diharapkan mampu mengukur beban hingga orde ton. Target beban maksimal yang dapat diukur menjadi acuan dalam perancangan sensor. Serat optik yang digunakan untuk sensor tidak langsung dikenai beban, melainkan menggunakan material penahan beban. Material yang digunakan untuk penahan beban harus mempunyai modulus elastisitas tertentu sehingga dapat menahan beban yang berat tanpa merusak serat optik. Modulus elastisitas dari material pelindung yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4). Regangan (*strain*) yang terjadi akibat adanya *stress* dan besarnya *stress* yang terjadi pada luas A_0 didapatkan menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2).

F adalah gaya yang bekerja pada luasan A_0 . Δl adalah perubahan panjang akibat *stress*, l adalah panjang awal. Dari persamaan (2.1) sampai (2.4) didapatkan persamaan untuk modulus elastisitas sebagai berikut,

$$E = \frac{\frac{F}{A_0}}{\frac{\Delta l}{l}} \quad (3.1)$$

Dengan menggunakan persamaan (3.1) didapatkan nilai dari modulus elastisitas minimal dari material yang akan digunakan sebagai penahan beban adalah 100 MPa. Material penahan beban yang digunakan adalah material yang terbuat dari polimer.



Gambar 3.2. (a) Desain sensor beban, (b) penampang melintang desain sensor beban

Material penahan beban yang digunakan adalah *High Density Polyethylene* (HDPE). HDPE disiapkan dengan dimensi panjang 20 cm, lebar 10 cm, dan tebal 1 cm. Material HDPE yang digunakan mempunyai modulus *tensile strength* sebesar 29 MPa. Spesifikasi dari HDPE yang digunakan dapat dilihat pada lampiran A. Dalam proses mendesain suatu material maka, perlu diperhitungkan faktor keamanan dan kekuatan desain dari desain tersebut. Faktor keamanan merupakan perbandingan antara *yield strength* dengan *work strength*. Faktor keamanan yang digunakan untuk mendesain sebesar 1,49. Dengan faktor keamanan tersebut maka, kekuatan desain maksimal didapatkan sebesar 15, 44 MPa.

Hal ini berarti bahwa HDPE mampu menahan tegangan hingga 15,44 MPa tanpa terjadi kerusakan. Setelah desain dari material penahan beban selesai, selanjutnya adalah memperhitungkan beban yang mampu diterima oleh serat optik.

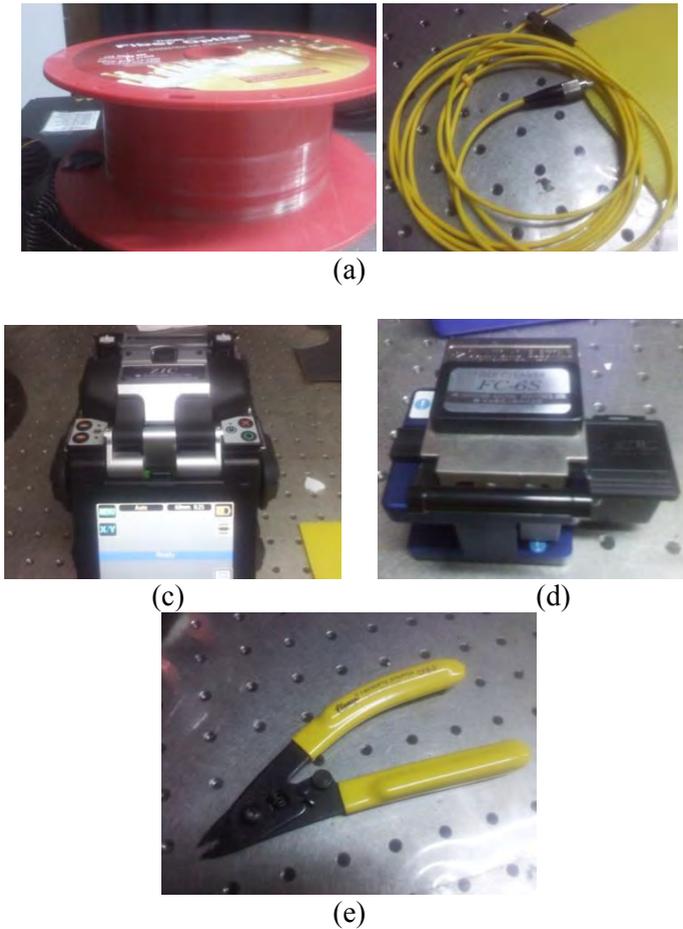
Serat optik yang digunakan adalah serat optik yang terbuat dari bahan silika. Serat optik dari bahan silika memiliki modulus elastisitas sebesar 73 GPa dan *flexural strength* sebesar 110 MPa. Serat optik yang digunakan akan ditanam pada material pelindung seperti pada gambar 3.2. Ketika beban yang diberikan di bagian tengah dari alat yang dibuat, maka menyebabkan serat optik yang ditanam pada material pelindung akan mengalami deformasi seperti pada gambar 2.7 sehingga, yang akan digunakan dalam perhitungan adalah *flexural strength* dari serat optik. *Flexural strength* yang dimiliki oleh serat optik silika sebanding dengan beban 10 kg. Detail perhitungan untuk perancangan dapat dilihat pada lampiran B.

3.2 Pembuatan Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS)

Pembuatan serat optik berstruktur SMS dilakukan dengan cara menyambungkan secara axial serat optik *singlemode* bertipe *corning* SMF-28 berdiameter inti 8,2 μm dengan serat optik *multimode* bertipe GIF-625 berdiameter inti 62,5 μm . Sebelum melakukan penyambungan serat optik perlu dipersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penyambungan. Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. 2 buah serat optik *singlemode* bertipe *corning* SMF-28 berdiameter inti 8,2 μm dengan serat optik *multimode* bertipe GIF-625 berdiameter inti 62,5 μm . Spesifikasi serat optik multimode dapat dilihat pada lampiran A.
2. *Fusion splicer* Sumitomo Z1C. Spesifikasi dapat dilihat pada lampiran A.
3. *Fiber cleaver* Fujikura FC-6S
4. *Fiber stripper*
5. Penggaris
6. Kapas

7. Alkohol 99%



Gambar 3.3. (a) Serat optik dan serat optik *patchcord*, (b) *fusion splicer*, (c) *fiber cleaver*, (d) *fiber stripper*

Setelah semua alat dan bahan telah siap, penyambungan serat optik *singlemode* dan *multimode* dapat dilakukan sesuai dengan prosedur berikut:

1. Mengupas jaket dari serat optik *singlemode* menggunakan *fiber stripper*. Setelah jaket dikupas, lakukan pengupasan *cladding* menggunakan alat yang sama sehingga hanya tinggal bagian *core*.
2. Membersihkan bekas pengupasan *cladding* menggunakan kapas yang telah dibasahi dengan alkohol.
3. Memotong bagian *core* yang sudah tidak ada *cladding* hingga panjangnya tinggal 10 mm menggunakan *fiber cleaver*.
4. Kemudian memasang pada *clip* pada *fusion splicer*.
5. Melakukan prosedur yang sama untuk serat optik *multimode*. Serat optik *multimode* disiapkan dengan panjang 10,6 cm.
6. Setelah serat optik terpasang pada *clip fusion splicer*, melakukan pengecekan serat optik sebelum disambung. Jika penampang serat optik tidak ada yang rusak, maka penyambungan menggunakan *fusion splicer* dapat dilakukan.
7. Setelah penyambungan berhasil, maka penyambungan dapat dilakukan kembali pada ujung yang lain serat optik *multimode* dengan serat optik *singlemode* yang lain. Langkah-langkah penyambungan sama dengan langkah 1-6.

3.3 Pembuatan Sensor Beban

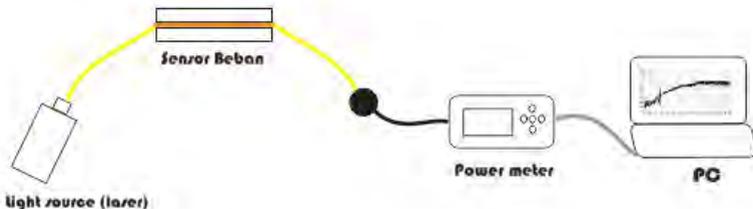
Pembuatan sensor beban dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menyiapkan HDPE dengan dimensi 20x10x1 cm sebanyak 2 buah.
2. Membuat *grove* pada salah satu HDPE. Pembuatan *grove* dilakukan dengan cara membuat goresan pada permukaan HDPE. Goresan yang dibuat pada bagian tengah permukaan.
3. Menanam serat optik SMS pada *grove* dan kemudian dilem pada *grove* tersebut.

4. Setelah serat optik berhasil ditanam pada salah satu HDPE, HDPE yang lainnya dipasang pada bagian atas dan dilem. Sehingga sensor beban memiliki struktur seperti pada gambar 3.2 (b).

3.4 Pengujian Kestabilan Sumber Cahaya

Sebelum sensor yang telah dirancang diuji dengan memberikan beban, perlu dilakukan pengujian kestabilan *light source* yang digunakan. Pengujian *light source* ini bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan *light source* untuk stabil setelah *light source* dinyalakan.



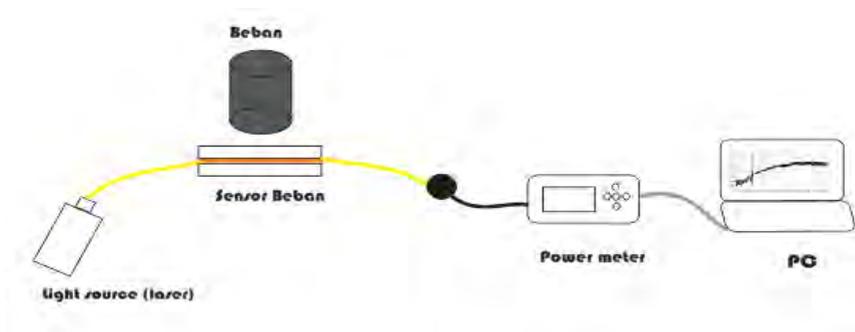
Gambar 3.4. Skema pengujian kestabilan *light source*

Pengujian ini dilakukan dengan cara melewati *light source* pada serat optik berstruktur SMS yang telah dipasang pada HDPE. Ujung serat optik yang satu disambungkan dengan *power meter* Thorlabs dan *power meter* disambungkan ke komputer yang telah siap dengan *software* PM100D untuk menampilkan fluktuasi daya dari *light source* (gambar 3.3). Sesuai dengan grafik pada gambar 2.7, panjang gelombang yang memiliki nilai rugi daya intrinsik paling kecil adalah panjang gelombang 1550 nm. *Light source* yang digunakan adalah laser JDSU dengan panjang gelombang 1550 nm.

3.5 Gambaran Pengujian Pembebanan

Uji pembebanan statis menggunakan alat uji tekan beton. Pembebanan dilakukan pada rentang pengukuran 0 – 300 kgf dengan kenaikan 10 kgf. Secara umum skema pengujian

pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.4. Sensor beban yang akan diuji dipasang pada alat uji tekan beton. Ujung serat optik *singlemode* masing-masing disambungkan dengan *light source* dan *power meter*. *Power meter* disambungkan pada komputer untuk mendapatkan display secara *realtime*.



Gambar 3.5. Skema pengujian beban statis



Gambar 3.6. Pengujian pembebanan menggunakan alat uji tekan beton

3.6 Pengujian Beban Statis

Pengujian beban statis yang dilakukan pada masing-masing variasi dilakukan dengan prosedur berikut:

1. Sebelum melakukan pengujian pembebanan, semua variasi diberi tanda pada polimer lapisan atas untuk menunjukkan bagian tengah dari alat yang akan diuji.

2. Alat yang akan diuji dipasang pada alat uji tekan beton. Permukaan beban diarahkan tepat di bagian yang sudah diberi tanda.
3. Pembebanan dilakukan dengan memberikan beban secara perlahan naik dari 0-400 kgf (0 – 3922,8 N), dengan kenaikan 10 kgf (98,07 N).
4. Kemudian pengujian pembebanan dilakukan secara perlahan turun dari 400-0 kgf (3922,8 – 0 N) dengan penurunan 10 kgf (98,07 N).
5. Langkah 3-4 dilakukan sebanyak 5 kali.
6. Langkah 1-5 dilakukan pada semua variasi alat yang dirancang.



Gambar 3.7. Desain sensor beban yang telah diberi tanda di bagian tengah

Halaman ini memang kosong

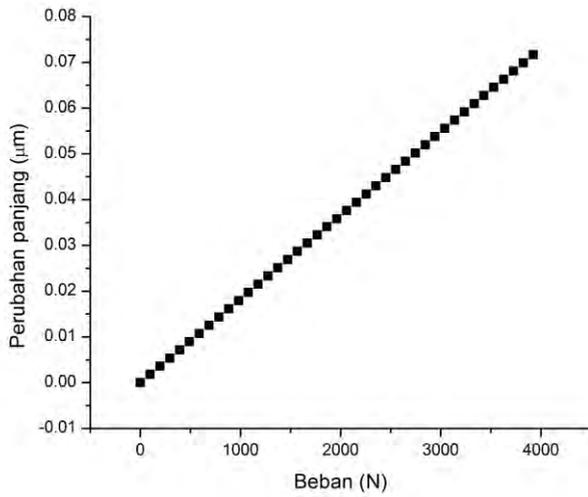
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

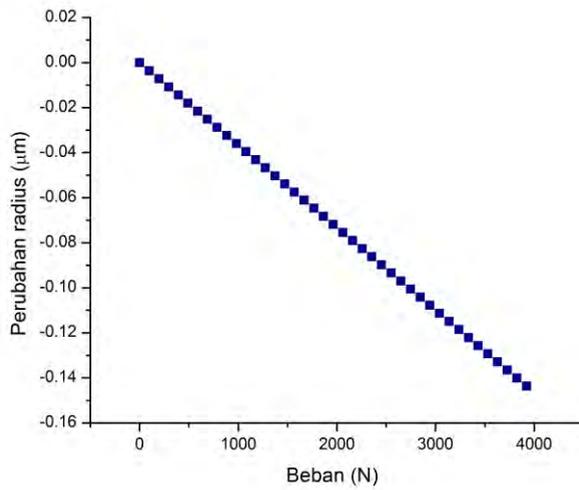
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisa data pada pengujian sensor beban. Melalui pengujian dan analisa ini dapat diketahui performansi dari sensor beban yang dirancang.

4.1 Hasil Perhitungan Teoritis

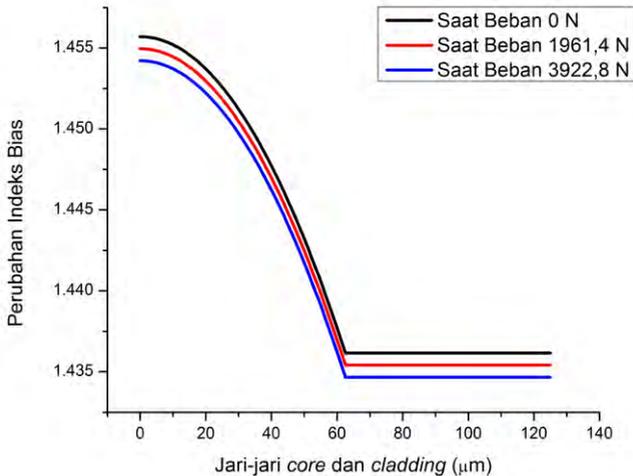
Sebelum melakukan pembeban, perlu dilakukan pengukuran kestabilan sumber cahaya. Hasil pengukuran kestabilan sumber cahaya dapat dilihat pada lampiran C. Setelah pengukuran kestabilan sumber cahaya, dilakukan pengujian pembebanan secara teoritis dan eksperimen. Ketika sensor beban yang dirancang dikenai beban, maka sensor beban tersebut akan mengalami deformasi. Deformasi pada sensor beban tersebut menyebabkan perubahan dimensi (panjang dan jari-jari) dan indeks bias serat optik *multimode*. Dengan menggunakan persamaan (2.5), (2.12), (2.17) dan (2.18) didapatkan perubahan panjang, jari-jari dan indeks bias dari serat optik. Gambar 4.1 (a) menunjukkan hubungan beban dan perubahan panjang dari serat optik *multimode* pada serat optik berstruktur SMS. Seiring dengan pertambahan beban yang diberikan, perubahan panjang dari serat optik *multimode* tersebut semakin panjang. Hal ini berbanding terbalik dengan perubahan jari-jari *core* dari serat optik *multimode* tersebut (gambar 4.1 (b)). Tanda negatif pada perubahan jari-jari *core* serat optik menunjukkan bahwa jari-jari *core* serat optik *multimode* tersebut memendek. Gambar 4.1 (c) menunjukkan perubahan profil indeks bias *core* dan *cladding* serat optik. Semakin besar beban yang diberikan, maka indeks bias dari serat optik *multimode* tersebut semakin kecil.



(a)



(b)

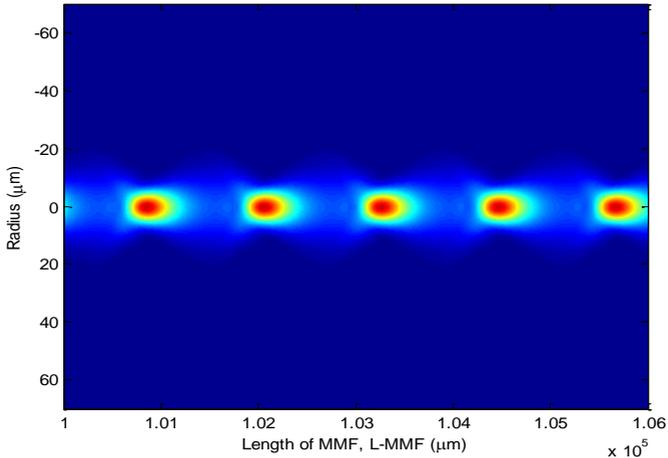


(c)

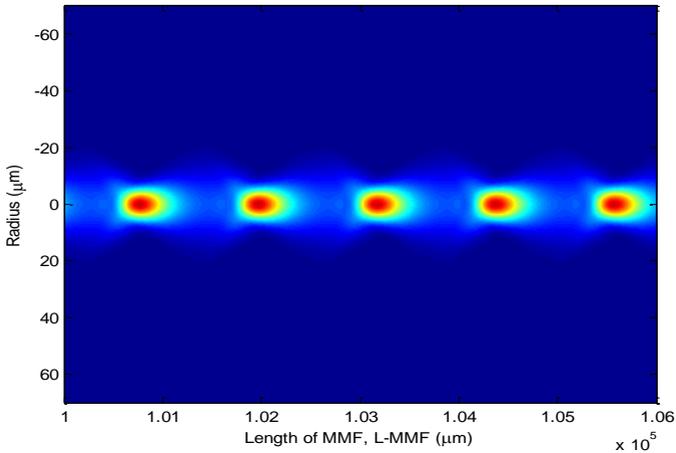
Gambar 4.1. (a) perubahan panjang serat optik bagian *multimode* akibat pembebanan, (b) perubahan jari-jari serat optik bagian *multimode* akibat pembebanan, (c) perubahan profil indeks bias serat optik bagian *multimode* akibat pembebanan.

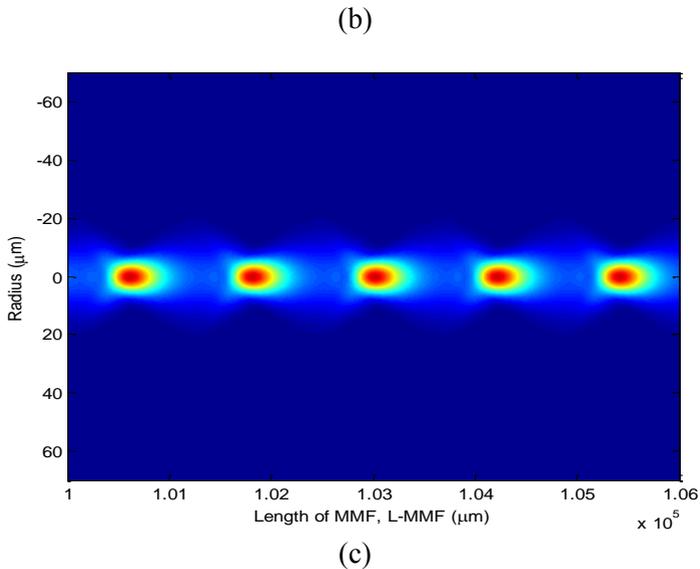
Perubahan dimensi dan indeks bias tersebut mempengaruhi penjalaran moda pada serat optik, sehingga berakibat pada perubahan daya keluaran yang terbaca oleh *power meter*. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Morshed, pada bagian *multimode* serat optik SMS terjadi *multimode interference* (MMI) dari moda-moda yang dibangkitkan oleh moda dari serat optik *singlemode* dan MMI maksimum disebut dengan *self-imaging*. *Self imaging* yang terjadi pada serat optik *multimode* akan berulang sepanjang serat optik secara periodik. Serat optik *multimode* yang digunakan bertipe *graded index*, sehingga *self imaging* yang terjadi berulang secara periodik pada jarak yang pendek. Dengan menggunakan persamaan (2.22) didapatkan bahwa jarak antara *self imaging* sebesar 1,06 mm. Hal ini berarti

bahwa perubahan dimensi pada orde mikrometer dapat mempengaruhi posisi *self imaging*. Perubahan posisi *self imaging* tidak hanya dipengaruhi oleh dimensi serat optik *multimode*, tetapi juga indeks bias dari serat optik *multimode*. Pola penjalaran moda yang terjadi pada bagian serat optik *multimode* pada serat optik berstruktur SMS diperlihatkan pada gambar 4.2.



(a)

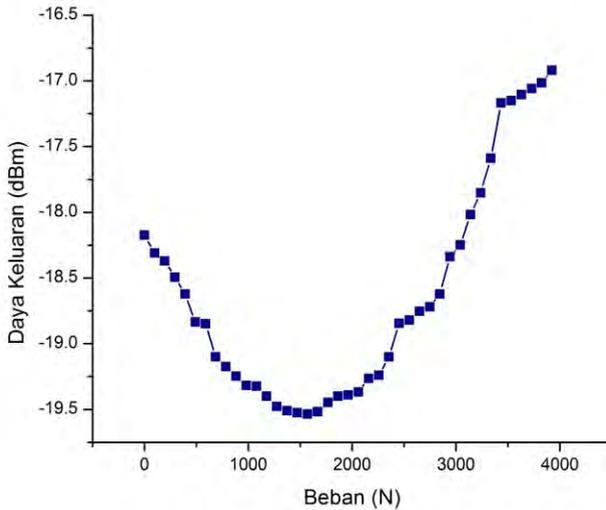




Gambar 4.2. Pola penjalaran cahaya pada serat optik *multimode* (a) saat beban 0 N, (b) saat beban 1961,4 N, (c) saat beban 3922,8 N

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa ketika diberi beban, pola *self imaging* pada serat optik *multimode* akan bergeser. Pada beban 1961,4 – 3922,8 N, pola penjalaran cahaya pada serat optik *multimode* semakin rapat. Hal ini akan menyebabkan daya yang masuk ke serat optik *singlemode* dari serat optik *multimode* akan semakin besar, sehingga *trend* perubahan daya pada *range* beban 1961,4 – 3922,8 N akan naik.

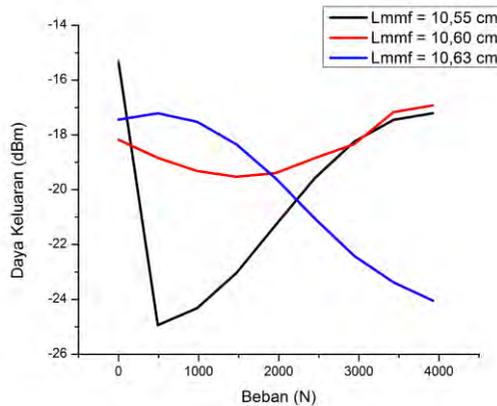
Pada hasil simulasi penjalaran cahaya pada serat optik *multimode*, titik *self-imaging* akan berulang secara periodik. Perubahan titik *self-imaging* ini akan menyebabkan perubahan daya keluaran yang terbaca oleh *power meter* naik dan turun. Perubahan daya keluaran serat optik SMS ditunjukkan oleh gambar 4.3.



Gambar 4.3. Daya keluaran serat optik SMS akibat pembebanan (hasil perhitungan)

Pada gambar 4.3 didapatkan hasil perhitungan dari daya keluaran dari serat optik SMS pada beban yang berbeda-beda. Ketika diberi beban pada *range* 0 – 1961,4 N daya keluaran serat optik SMS turun, sedangkan pada *range* beban 1961,4 – 3922,8 N daya keluaran serat optik naik.

Profil daya keluaran serat optik akibat pembebanan dapat berubah bergantung pada panjang dari serat optik *multimode* yang digunakan. Pada gambar 4.4 dapat dilihat perbedaan profil daya keluaran dari serat optik pada panjang yang berbeda-beda.

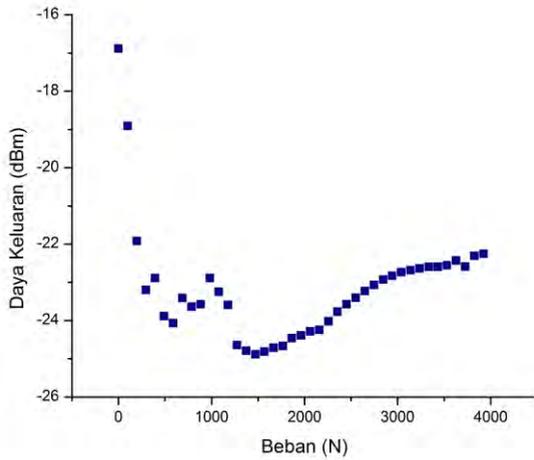


Gambar 4.4. Profil daya keluaran pada panjang serat optik *multimode* yang berbeda-beda.

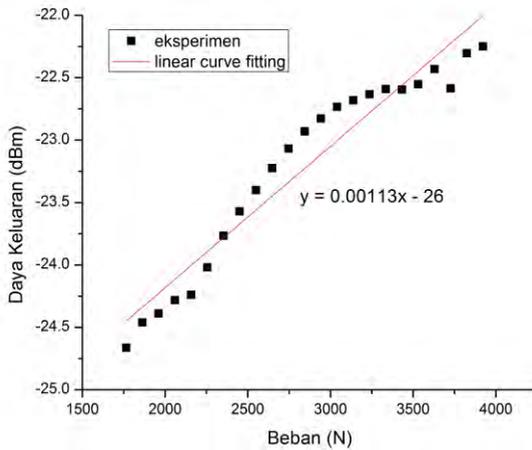
Panjang dari serat optik *multimode* sangat mempengaruhi profil daya keluaran dari serat optik. Pada panjang 10,55 cm (garis warna hitam), profil daya keluaran serat optik turun secara signifikan pada *range* beban 0-500 N, kemudian naik secara perlahan dari *range* beban 500-3992,4 N. Pada saat panjang serat optik berubah 0,05 cm, yakni menjadi 10,60 cm (garis warna merah), profil daya keluaran serat optik berubah jauh. Hal yang sama terjadi pada panjang 10,63 cm, profil daya keluaran dari serat optik cenderung turun.

4.2 Hasil Pengujian Sensor Beban

Daya keluaran serat optik SMS yang ditanam pada HDPE diamati sebagai perubahan pembebanan yang diberikan. Hasil pengujian pembebanan dapat dilihat pada gambar 4.5. Pada gambar 4.5 (a) dapat dilihat bahwa daya keluaran serat optik cenderung turun pada *range* 49,035 – 686,49 N kemudian daya keluaran serat optik cenderung naik pada *range* 1765,2 – 3922,8 N (gambar 4.5 (b)).



(a)

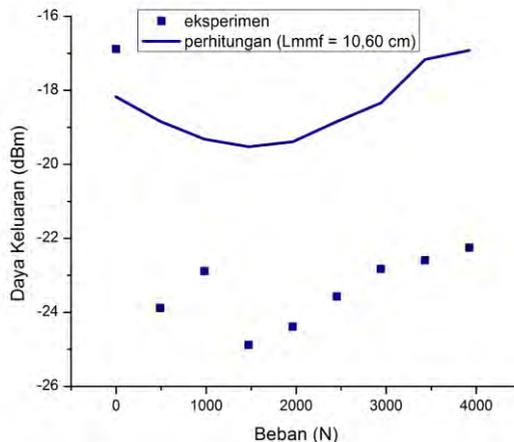


(b)

Gambar 4.5. (a) Daya keluaran serat optik SMS akibat pemberian beban (b) *range* beban yang mempunyai perubahan daya yang linier.

Pada gambar 4.5 (a) dapat dilihat bahwa pada range 686,49 – 1765,2 N fluktuasi daya yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan oleh lama pembebanan yang berbeda sehingga terjadi perbedaan besar *strain longitudinal*. Pada gambar 4.5 (b) dapat diketahui bahwa *range* pengukuran dari sensor linier pada *range* 1765,2 - 3922,8 N dan mempunyai persamaan regresi $y = 0,0011x - 26$.

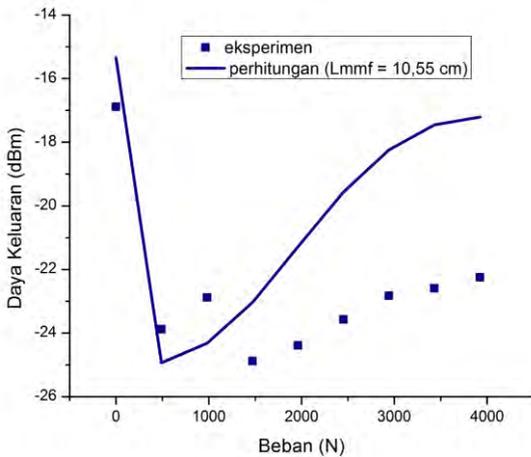
Hasil dari eksperimen yang didapatkan sesuai dengan hasil perhitungan secara teoritis, bahwa daya keluaran dari serat optik yang terbaca akan berubah, turun kemudian naik. Pada saat pembebanan serat optik yang dipasang mengalami deformasi, sehingga serat optik mengalami perubahan jari-jari, panjang dan indeks bias. Namun, hasil eksperimen yang didapatkan masih memiliki *error* yang cukup besar (gambar 4.6).



Gambar 4.6 Perbandingan profil daya keluaran serat optik SMS dari data eksperimen dan hasil perhitungan.

Hal tersebut terjadi karena ada beberapa faktor ,yaitu ketidak presisian pemotongan serat optik *multimode*, karakteristik dari material penahan beban yang digunakan dan faktor eksternal.

Pada gambar 4.5 dapat diketahui bahwa panjang dari serat optik *multimode* yang digunakan sangat berpengaruh pada profil daya keluaran. Sehingga, kemungkinan adanya ketidak presisian pemotongan serat optik *multimode* merupakan salah satu penyebab dari perbedaan antara profil daya dari hasil perhitungan teori dengan profil daya dari data eksperimen. *Error* akibat pemotongan sebesar 0,5%. Namun, *error* pemotongan tersebut menyebabkan *error* terhadap perhitungan teoritis sebesar 24,73%. Gambar 4.7 menunjukkan bahwa profil daya keluaran dari perhitungan teoritis pada panjang serat optik *multimode* 10,55 cm lebih cocok dengan data eksperimen. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa *error* antara hasil perhitungan teoritis dengan hasil eksperimen lebih kecil jika dibandingkan dengan gambar 4.6, yaitu sebesar 16,34% terhadap hasil perhitungan teoritis.



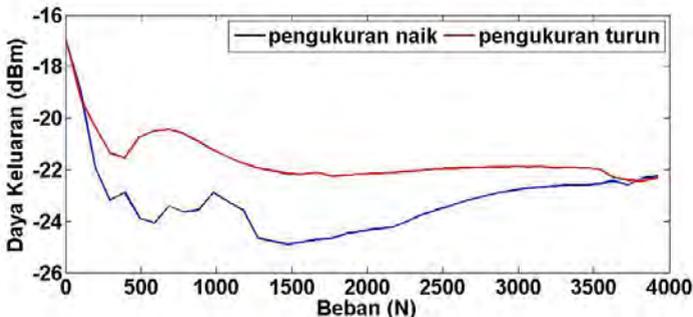
Gambar 4.7 Perbandingan profil daya keluaran serat optik dari data hasil eksperimen dengan hasil perhitungan pada panjang serat optik *multimode* 10,55 cm.

Dari hasil perbandingan tersebut masih terdapat *error* antara data eksperimen dengan hasil perhitungan. Hal ini bisa terjadi

faktor pemberian lem yang diabaikan dalam perhitungan secara teoritis.

Selain faktor tersebut, terdapat pula faktor dari karakteristik dari material penahan beban. Material penahan beban yang digunakan adalah polimer HDPE. Material HDPE mempunyai modulus elastisitas sebesar 580 MPa, sehingga pada *range* beban 0 – 49,035 N tidak ada perubahan daya keluaran yang terbaca. Hal ini terjadi karena beban yang dialami oleh sensor beban yang dirancang tidak menyebabkan deformasi pada serat optik, sehingga tidak terjadi perubahan daya keluaran yang terbaca. Selain itu, seperti yang diungkapkan oleh Ayoub dkk. pada hasil pemodelannya, terhadap beberapa polimer *polyethylene*, ada perilaku nonlinier dari polimer yang tidak boleh diabaikan.

Pengujian pembebanan sensor juga dilakukan secara naik dan turun untuk mengetahui histeresis dari sensor. Pengujian pembebanan naik dilakukan dari beban 0 – 3922,8 N, kemudian turun dari beban 3922,8 – 0 N. langkah tersebut dilakukan sampai 5 kali. Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengukuran naik dan turun dari sensor yang dibuat.



Gambar 4.8 Histeresis dari hasil pengukuran

Dari gambar 4.8 dapat diketahui bahwa pengujian pembebanan yang diberikan pada sensor secara naik dan turun mempunyai histeresis yang cukup besar. Perbedaan hasil pengukuran pada pengujian naik dan turun, paling besar terjadi pada beban 1800 N. Hasil pengukuran pada pengujian turun diketahui bahwa saat beban dihilangkan, daya keluaran dari serat

optik SMS kembali seperti pada keadaan awal. Sehingga, sensor yang dibuat dapat digunakan untuk mengukur kembali, langsung setelah beban dihilangkan.

Sebagai sensor, alat yang dirancang mempunyai karakteristik statis. Tabel 4.1 menunjukkan karakteristik statis dari sensor yang dirancang.

Tabel 4.1 Karakteristik Statis dari Sensor Beban yang Dirancang

Sensor yang dirancang	Range Input	Sensitivitas (dBm/N)	Resolusi (N)	Histeresis (%)	R ²
	1765.26 – 3922.8 N	0,00118	4,2	82,54	0,952

Sensor beban yang dirancang mempunyai *range* pengukuran yang lebar dan resolusi yang baik. Sensitivitas sensor yang dirancang sudah cukup baik, karena pembacaan *power meter* yang digunakan dapat mencapai orde nW. Namun, sensor beban yang dirancang mempunyai histeresis yang cukup besar. Histeresis dari sensor yang dibuat besar karena material yang digunakan adalah material yang bersifat viskoelastis. Pada sub bab 2.1.2 telah dijelaskan bahwa material viskoelastis mempunyai perbedaan *strain* yang cukup besar saat dibebani dan saat beban dihilangkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dilakukan perancangan dan pembuatan sensor beban berbasis serat optik SMS menggunakan HDPE sebagai material penahan beban. Perancangan sensor beban secara teoritis diketahui bahwa ketika beban diberikan pada serat optik SMS yang ditanam diantara 2 lapisan HDPE dengan dimensi masing-masing lapisan 20x10x1 cm. akan menyebabkan perubahan *strain* dari HDPE dan serat optik SMS. Perubahan *strain* tersebut mengakibatkan perubahan jari-jari, panjang dan indeks bias serat optik SMS bagian *multimode*. Dari hasil perancangan tersebut dilakukan pembuatan sensor beban dan uji performansi sensor. Hasil pengujian pengujian terhadap sensor yang dibuat didapatkan bahwa sensor mempunyai *range* pengukuran linier pada beban 1765,2 - 3992,8 N, sensitivitas sebesar $1,18 \times 10^{-3}$ dBm/N dan resolusi sebesar 4,2 N.

5.2 Saran

Adapun saran untuk perbaikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk meningkatkan sensitivitas dan menurunkan nilai histeresis perlu dilakukan penelitian variasi teknik pemasangan serat optik pada material pelindung dan variasi material penahan beban.
2. Pada pemodelan sistem perlu dipertimbangkan faktor lem supaya pemodelan lebih mendekati keadaan nyata.
3. Perlu dilakukan pengujian performansi sensor untuk rentang pengukuran yang lebih lebar karena secara karakteristik material, HDPE mampu digunakan untuk menahan beban hingga 100 kN.

Halaman ini memang kosong

HDPE

Product Overview



HDPE (High Density Polyethylene) is an engineering plastics material that has an excellent tensile strength and impact resistance. Its relatively lightweight composition, low level of water absorption, low coefficient of friction and good chemical resistance makes it suitable for use in applications that require high level of physical demand. HDPE is also certified as a food-safe material.

Available in **Natural**, **Black**, and **Green** colours.



Properties

- Light weight
- Good insulator
- Food-safe
- Weatherproof (water and chemical resistant)
- Weldable (suitable for fabrications)

Technical Data

Properties	Method (ISO/IEC)	Unit	Value
Density	1183	g/cm ³	0.96
Water absorption			
after 24h immersion in water of 23°C	62	%	0.01
at saturation in water of 23°C	-	%	0.01
Temperature of deflection under load			
method A: 1.8MPa	75	°C	47
Flammability:			
UL94(3/6mm thickness)	-	-	HB/HB
Mechanical properties			
Tension test			
tensile stress	527	MPa	23
tensile strain at break	527	%	> 600
Compression test:			

compressive stress at 5% strain	604	MPa	29
Izod impact strength - notched	180/2A	kJ/m ²	no break
Rockwell hardness	2039-2	-	R 65
Electrical properties			
Volume resistivity	(60093)	Ω·cm	> 10 ¹⁴
Surface resistivity	(60093)	Ω	> 10 ¹³

Note: The information contained herein are typical values intended for reference and comparison purposes only. All values at 73°F (23°C) unless otherwise noted.



Sumber Jaya

Engineering Plastics, Heatlers and
Industrial Materials Stockist and Supplier

[Z1C specifications]

Optical fiber requirement	Material	Silica glass		
	Profile type	SMF (ITU-T G.652), MMF (ITU-T G.651) DSF (ITU-T G.653), NZDSF (ITU-T G.655,G.656)		
	Fiber diameter	80 – 150 μ m		
	Fiber coating diameter	100 – 1,000 μ m		
	Cleave length *1	<up to ϕ 1,000 μ m> 5 – 16 mm	<Drop cable / indoor cable> 10mm	
	Fiber count	Single fiber		
Size and weight	Size (main body) *2	120W X 154D X 130H (mm)		
	Weight	Approx. 2.0 kg (with BU-11S)		
	Monitor	4.1" touch screen color LCD display		
Standard performance	Typical splice loss *3	SMF : 0.02dB DSF : 0.04dB		
		MMF : 0.01dB NZDSF : 0.04dB		
	Typical splice cycle time *3	Approx. 7 seconds (Quick Mode) Approx. 7.5 seconds (SMF Standard Mode) Approx. 8 seconds (Automatic Mode)		
	Typical heating cycle time *1*4	Approx. 28 seconds		
	Splicing/heating operation per fully charged battery *5	Approx. 100		
Functions	Loss Estimation	Provided		
	Splice data storage	10,000 splices		
	Splice image capture	64 splices		
	Proof test *6	1.96N (200gf)		
	Heat shrink oven	Provided		
	Arc environment calibration	Automatically compensates for environmental condition changes		
	Arc test	Provided		
	V-groove white LED illumination	Provided		
	Interface	USB 2.0 mini-B type		
	Storage media	SD / SDHC memory card		
	Universal clamps for tight & loose buffer fiber	Provided		
	Reversible coating clamps	Provided		
	User-selectable heater clamp operation	Provided		
Onboard user training video	Provided			
Programs	Splice programs	Max. 300		
	Heating programs	Max. 100		
Power supply	AC operation	With ADC-1430 Input: AC 100-240V 50/60Hz 1.1A		
	DC operation	Input: DC 10-15V, 4A		
	Battery operation	(With BU-11S) 11.1V (2300mAh)		
	DC output	12V For Sumitomo's hot jacket remover		
Environmental conditions	Operation temperature *7	-10 °C ~ +50 °C		
	Storage temperature *7 *8	-40 °C ~ +80 °C		
	Altitude	0 to 6,000m		
	Windproof	Max. 15m/s		
	Water & Dust resistance	Equivalent to IP52 *9		
	Shock resistance	Drop from 76cm on 5 faces *10		
Electrode life	3,000 arc discharges *11			

- *1 The applicable fiber protection sleeves vary depending on the cleave length.
60mm fiber protection sleeves ----- Cleave length 5-16mm
40mm fiber protection sleeves ----- Cleave length 5-10mm
- *2 The protrusion part is not included.
- *3 With Sumitomo identical fiber (In room temperature. Varies depending on the condition of fiber.)
- *4 With the AC adaptor In room temperature (20°C). If the battery pack is used, the heating cycle time varies depending on the temperature and the remaining battery capacity.
With Sumitomo protection sleeve FPS-40 or FPS-1. Coating diameter 250µm.
- *5 With a new battery pack, 1 splice cycle time (splice + protection) completes in 90 seconds, in room temperature. Splice & heat cycles may vary depending on the operating environment.
- *6 Performed on the fiber stage after splicing.
- *7 Non-condensing
- *8 The Battery pack storage temperature range: -20°C ~ +50°C (if stored for less than 1 month),
-20°C ~ +40°C (if stored for less than 3 months), -20°C ~ +20°C (if stored for less than 1 year).
- *9 Water resistance: Operates normally after being exposed to water dripping at 3mm/min, for at least 2.5 min on each of 4 surfaces tilted at 15°. The test is held with the battery operation, carried out by Sumitomo, but does not guarantee that the product is free of faults or damage.
Dust resistance: Operates normally after 8 hours in a dust chamber containing dust of particle size 25µm or below. The test is held with the battery operation, carried out by Sumitomo, but does not guarantee that the product is free of faults or damage.
- *10 The machine spliced the fiber successfully after dropped from 76cm height on 5 faces (excluding top face) at free-fall. The test is held with the battery operation, carried out by Sumitomo, but does not guarantee that the product is free of faults or damage.
- *11 Electrode life is not guaranteed. This number may vary depending on the operating environment.

Lampiran B

1. Perhitungan modulus elastisitas material yang dibutuhkan

$$E = \frac{\frac{F}{A_0}}{\frac{\Delta l}{l}}$$

Beban maksimal yang akan diukur 10 ton.

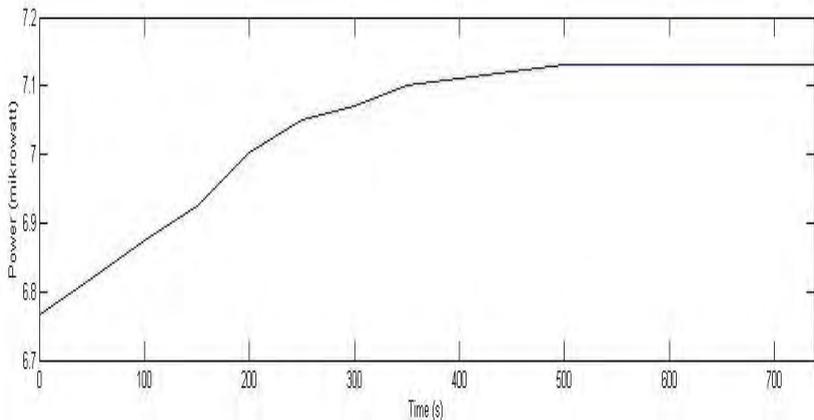
$$E = \frac{\frac{10000 \text{ N}}{0,02 \text{ m}^2}}{0,05} = 100.000.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 100 \text{ Mpa}$$

2. Perhitungan tegangan izin dari sensor yang dirancang
Alat didesain dengan faktor keamanan sebesar 1,49, sehingga tegangan izin dari sensor yang dirancang adalah sebagai berikut:

$$\sigma_w = \frac{\sigma_y}{\eta} = \frac{23 \text{ MPa}}{1,49} = 15,44 \text{ MPa}$$

Lampiran C

Sebelum melakukan pengujian pada sensor beban, daya keluran dari sumber cahaya harus diukur terlebih dahulu untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan sumber cahaya untuk stabil. Pengukuran daya keluran dari sumber cahaya dilakukan dengan melewati cahaya pada serat optik *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) menggunakan *power meter* Thorlabs yang terhubung pada software PM100D pada komputer. Dari pengukuran yang dilakukan tersebut didapatkan hasil seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Daya keluaran laser yang melalui serat optik SMS

Dari gambar 1 dapat diketahui bahwa laser yang digunakan akan stabil pada menit kedelapan. Hal ini berarti bahwa untuk mendapatkan hasil pengujian yang stabil, maka pengujian dilakukan setelah laser menyala selama 8 menit.