

RANCANG BANGUN DAN KARAKTERISASI SENSOR PENDETEKSI KEMIRINGAN PIPA VERTIKAL DIDALAM TANAH BERBASIS SERAT OPTIK

¹⁾Imam Mulyanto, ²⁾Dwi Bayuwati, ³⁾Bambang Widiyatmoko,
⁴⁾Masbah RT Siregar, ⁵⁾Syamsul El Yumin

¹⁾²⁾³⁾Pusat Penelitian Fisika - LIPI

Kawasan PUSPIPTEK, Serpong 15314, Tangerang Selatan

Email: ¹⁾imam02081963@gmail.com

⁴⁾⁵⁾Institut Sains dan Teknologi Nasional

Jl. Moh. Kahfi II, Srengseng Sawah, Jakarta Selatan

Email : mrtsiregar2012@istn.ac.id

ABSTRAK

Dalam makalah ini dilaporkan penggunaan serat optik sebagai sensor pendeteksi kemiringan pipa vertikal didalam tanah. Komponen utama sensor terdiri atas sumber cahaya laser, serat optik sebagai sensor dan media penerus cahaya, detektor, sistem analisa data dan pipa standar geoteknik. Dalam penggunaannya untuk mendeteksi kemiringan tanah di kedalaman, dilakukan sesuai metoda standar geoteknika yaitu dengan cara menancapkan pipa geoteknik tersebut yang telah dilengkapi dengan sistem instrument sensor serat optik ke dalam tanah yang akan diukur kemiringannya. Apabila pada kedalaman tanah terjadi pergeseran atau pergerakan bidang tanah maka pipa akan menjadi miring dan sensor serat optik mengalami tekukan atau pelengkungan sehingga cahaya laser yang di transmisikan kedalam serat optik pada sistem sensor akan berkurang intensitas cahayanya. Besarnya penurunan intensitas cahaya laser akan sebanding dengan besarnya sudut kemiringan tanah. Dari proses karakterisasi sensor pendeteksi kemiringan berbasis serat optik diperoleh hasil nilai jelajah sudut kemiringan yang bisa terdeteksi adalah dari 0 hingga 7 derajat dengan ketelitian 0,5 derajat.

Kata Kunci: Sensor kemiringan, serat optik, laser.

ABSTRACT

In this paper we report the use of optical fibers as vertical pipe tilt detection sensors in the depth of the soil. The main components of the sensor consist of laser light sources, optical fibers as sensors and light transmitting media, photodetectors, data analysis systems and geotechnical standard pipes. In its use as the tilt sensor detection for the land in the depth, it uses the geotechnical standard method by plugging the geotechnical pipe equipped with an optical fiber sensor instrument system into the ground to be measured its slope. If there is a shift in the soil depth or ground movement, the pipe will be tilted and the fiber optic sensor will be bent so that the laser light transmitted into the optical fiber on the sensor system will be decreased its intensity. The magnitude of the intensity decrease will be proportional to the magnitude of the slope angle. From the process of characterization of the optical fiber-based tilt detection sensors, resulting range of tilt angle that can be detected is from 0 to 7 degrees with 0.5 degree accuracy.

Keywords: tilt sensor, fiber optic, laser.

PENDAHULUAN

Peralatan yang biasa digunakan untuk pengukuran kemiringan suatu objek relatif terhadap sumbu vertikal adalah inklinometer (George Machan and Victoria G. Bennett [1]). Alat ini sudah berkembang sejak lebih dari 50 tahun yang lalu dan telah dievaluasi serta diperbaharui sesuai kemajuan jaman telah dilaksanakan termasuk masalah analisa data dan piranti lunak grafisnya. Jenis inklinometer yang biasa digunakan adalah jenis probe yang melintang yang dimasukkan ke sistem rumahan dan digunakan untuk merekam penyimpangan terhadap rumahan pada interval-interval tertentu sehingga dapat dibuat suatu profil kontinyu dari sistem rumahan tersebut. Inklinometer dapat digunakan dalam berbagai aplikasi antara lain untuk memantau gerakan longsor dan stabilitas lereng, untuk memantau dampak penggalian pada fasilitas di dekatnya, deformasi struktur, dan penyelesaian tanggul penimbunan dan ruas jalan. Ada dua tipe probe atau sensor yang umum digunakan dalam inklinometer yaitu servo-akselerometer servo dan akselerometer MEMS. Probe akselerometer servo tersedia secara komersial sejak 1969, memiliki resolusi tertinggi dari inklinometers yang tersedia di pasar. Elemen penginderaan yang ada mendeteksi perubahan kemiringan (terhadap sumbu vertikal) dari probe tersebut. Probe ini mengandung dua biaxial servo-akselerometers dan dilengkapi dengan dua set pegas-tekanan roda untuk memandu probe di sepanjang alur longitudinal dari sistem rumahan sensor. Akselerometer MEMS digunakan sebagai pengganti

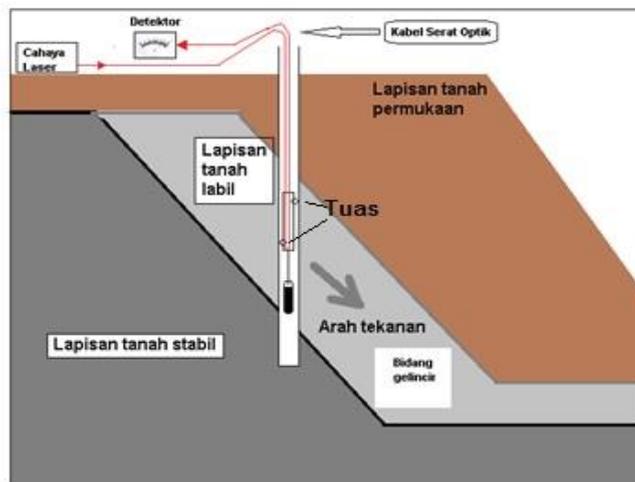
akselerometers servo. Keuntungan utama dari arsitektur MEMS adalah konsumsi daya rendah, daya tahan, transmisi nirkabel dan biaya rendah.

Peralatan-peralatan tersebut masih harus di impor dari negara lain sehingga harganya menjadi mahal, disamping itu peralatan yang sudah ada masih berbasis kabel logam tembaga untuk mengirimkan data informasinya, hingga kerap menimbulkan masalah pada sistem sambungannya karena saluran berbasis logam tembaga mudah korosi oleh udara lembab dan rentan terhadap pengaruh intervensi gelombang elektro magnetik.

Bertitik tolak dari permasalahan tersebut, maka telah dilakukan penelitian pembuatan sensor kemiringan tanah berbasis kabel serat optik, karena sensor jenis ini terbuat dari bahan dasar kaca yang tahan terkena lingkungan basah dan udara lembab, juga tidak terpengaruh oleh medan elektromagnetik; disamping itu rugi sinyal transmisi serat optik sangat kecil sekali yaitu 0.3 dB/km (Gerd Keiser [2]). Pembuatan rancang bangun sistem sensor berbasis kabel serat optik disini menggunakan sumber cahaya laser pada panjang gelombang 1.3 μm dan detektor InGaAs (Tomi Budi Waluyo dkk. [3]), serat optik jenis moda tunggal serta suatu pipa gelas sebagai pengganti silinder geoteknik agar mudah pengamatannya dalam proses rancang bangun awal ini; dalam uji cobanya dilapangan nantinya baru digunakan silinder standar geoteknik agar dapat ditancapkan secara vertikal di kedalaman tanah. Kemiringan pipa vertikal didalam tanah tersebut pada hakekatnya adalah kemiringan tanah di kedalaman yang terjadi karena adanya pergerakan tanah. Pengamatan kemiringan dilakukan dengan mengukur penurunan intensitas keluaran cahaya laser yang melewati sensor serat optik yang tertekuk pada waktu terjadi kemiringan tanah. Penelitian ditujukan untuk mendapatkan nilai jelajah sudut kemiringan dan nilai pembacaan terkecil yang dapat dideteksi oleh sistem sensor serat optik.

METODE PENELITIAN

Suatu ilustrasi penggunaan sensor kemiringan tanah di kedalaman tanah berbasis serat optik disajikan pada Gambar 1. Umumnya suatu lapisan didalam tanah terdiri atas lapisan tanah stabil, lapisan tanah labil dan lapisan tanah permukaan. Suatu pipa geoteknik ditanam atau ditancapkan menembus lapisan tanah permukaan lapisan tanah labil sampai menembus kedalam dan sebagian tertancap pada lapisan tanah stabil. Sensor kemiringan berbasis serat optik dibuat dengan berdasarkan prinsip perubahan intensitas cahaya laser yang ditransmisikan oleh sumber cahaya laser dioda yang dimasukkan kedalam kabel serat optik. Apabila lapisan tanah labil bergeser kearah tanda panah maka pipa akan tertekan dan pipa menjadi miring searah tanda panah. Maka kemiringan inilah yang akan menggerakkan suatu tuas yang dilengkapi dengan roda yang akan menekan serat optik sedemikian rupa sehingga menjadi mengalami lengkungan dan terjadi degradasi sinyal atau dengan kata lain terjadi penurunan intensitas cahaya laser dioda.

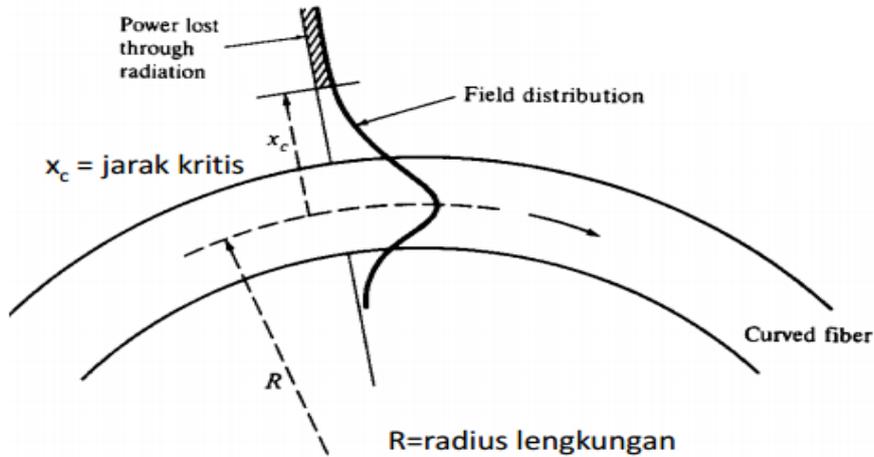


Gambar 1. Sensor kemiringan tanah berbasis serat optik.

Sinyal cahaya yang ditransmisikan melalui serat optik tidak selalu sama persis antara yang dikirim dengan yang diterima. Ini menunjukkan bahwa didalam serat optik terdapat kehilangan atau rugi-rugi. Karena adanya atenuasi, maka dapat didefinisikan atenuasi sinyal (atau rugi serat) sebagai perbandingan daya keluaran optik (P_{out}) dari serat optik yang panjangnya L terhadap daya masukan optik (P_{in}) (Gerd Keiser [2]):

$$\alpha_f = \frac{10 \text{ Log}(P_{in}/P_{out})}{L} \text{ (dB/km)} \quad (1)$$

Rugi lengkungan (*bending loss*) terdiri atas: makrobending (lihat Gambar 2) dan mikrobending. Rugi makrobending yang diambil sebagai prinsip dasar dalam pembuatan sensor kemiringan tanah disini dapat dihitung dengan membandingkan jumlah moda efektif yg dapat dipandu setelah lengkungan terhadap moda maksimum sebelum lengkungan.



Gambar 2. Fenomena makro bending pada serat optik.

Moda efektif diformulasikan sebagai berikut) (Gerd Keiser [2]):

$$M_{eff} = M \left\{ 1 - \frac{\alpha+2}{2+\alpha\Delta} \left[\frac{2a}{R} + \left(\frac{3}{2n_2kR} \right)^{2/3} \right] \right\} \quad (2)$$

Moda maksimum sebelum lengkungan dihitung dengan:

$$M = \frac{\alpha}{\alpha+2} (n_1 k a)^2 \Delta \quad (3)$$

Effisiensi daya optis yang dapat dipandu adalah,

$$n = \frac{M_{eff}}{M} \quad \text{atau} \quad n = \left\{ 1 - \frac{\alpha+2}{2+\alpha\Delta} \left[\frac{2a}{R} + \left(\frac{3}{2n_2kR} \right)^{2/3} \right] \right\} \quad (4)$$

Loss (rugi) makrobending menjadi :

$$Loss_{mb} = -10\log(\eta) \quad (5)$$

Indeks bias cladding adalah :

$$(n_2) = n_1 - NA^2 \quad (6)$$

Profile step indeks serat optik:

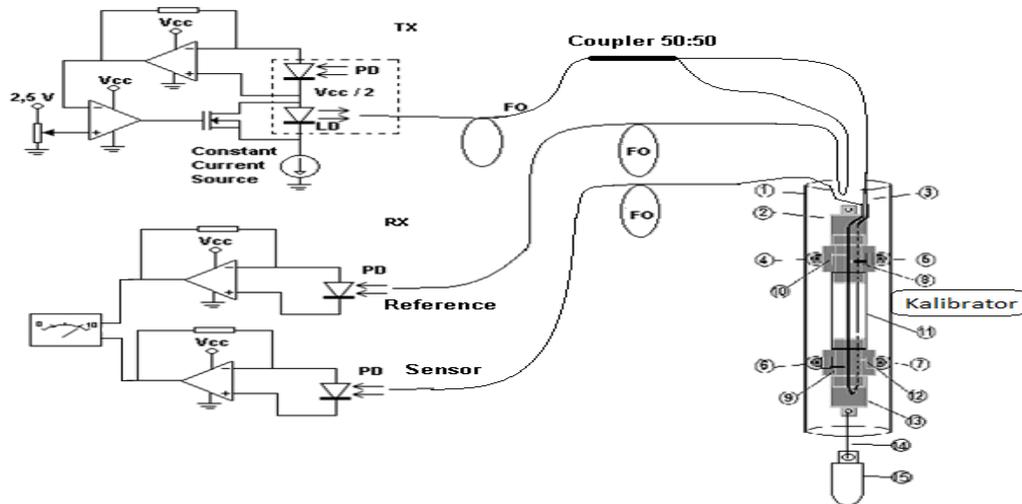
$$(\Delta) = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (7)$$

Beberapa parameter penting yang diketahui dari sistem inklino serat optik ini yang diperlukan untuk perhitungan nilai teoritis dari rugi makrobending adalah panjang gelombang laser 1.3 μm , nilai redaman serat optik (α) = 0,35 dB/km, Numerical Aperture (NA) = 0.14, indeks bias inti serat (n_1) = 1,4677, dan radius inti serat optik (a) = $4,5 \times 10^{-6}$ m.

EKSPERIMEN

Prinsip rancang bangun yang dilakukan pada dasarnya adalah menggunakan fenomena makrobending loss pada serat optik moda tunggal dimana intensitas cahaya laser dioda yang menjalar dalam sebuah kabel serat optik, akan menurun jika pada serat optik terjadi lekukan atau tekukan. Skema alat inklinomter berbasis bahan serat optik ditunjukkan pada Gambar 3. Sebagai sumber cahaya digunakan laser diode dengan panjang gelombang 1,3 μm yang dilengkapi internal PIN diode yang bertujuan agar sinyal cahaya tetap stabil dalam penjalarnya didalam serat optik single mode. Sistem power supply laser dioda menggunakan *automatic power control (APC)* yang sudah dilengkapi dengan *slow start circuit*, yang berfungsi mencegah terjadi pulsa kejutan dari sinyal listrik saat mulai di hidupkan sehingga laser diode tidak cepat rusak. Selanjutnya, tersedia juga *limit current circuit* yang berfungsi sebagai pembatas arus listrik

yang mengalir pada rangkaian laser diode; sementara *constant power feedback loop* berfungsi sebagai penstabil power intensitas cahaya laser diode.



Gambar 3. Sistem sensor kemiringan dalam lapisan tanah berbasis serat optik.

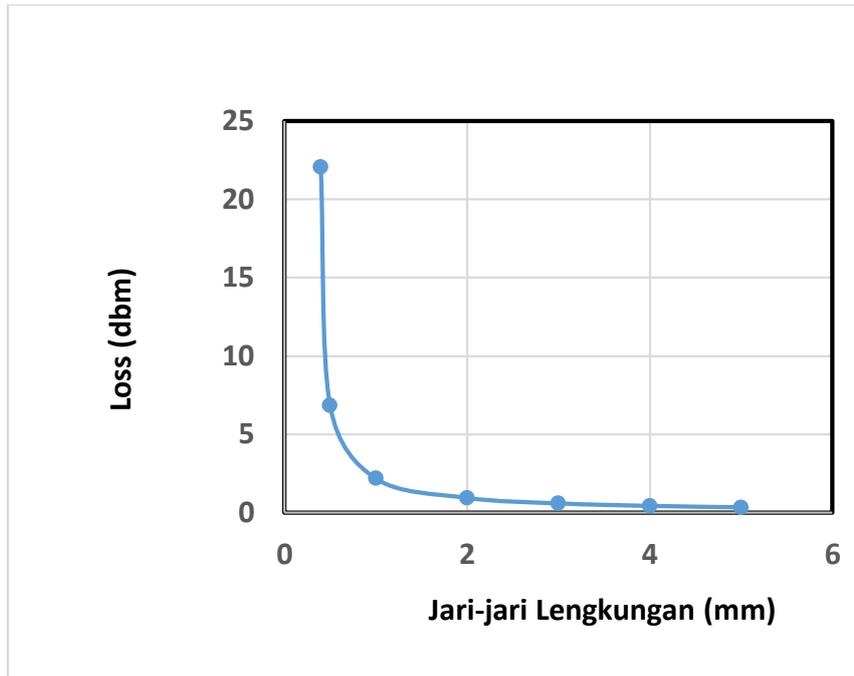
Sensor inklinometer terdiri dari bagian-bagian pipa borehole (1), tutup atas (2), housing tuas atas (10), roda bergerak atas (5), roda bergerak bawah (6), roda statis tuas bawah (7), tuas penekan atas (8), housing tuas bawah (9), pipa sensor (11), tuas bawah (12), tutup bawah (13), tali sling (14), bandul (15), skrup (16), pemandu serat optik (17), per (18) dan serat optik (FO/fiber optics). Pada sistem rangkaian penerima optik ini digunakan photodetektor (PD), untuk mendeteksi sinyal cahaya laser yang lewat kabel serat optik dan kemudian mengubah sinyal optik tersebut menjadi sinyal listrik. Sinyal listrik hasil konversi dari photodetektor akan dikuatkan oleh penguat yang dapat menguatkan sinyal sampai 1000 kali. Penguat pada rangkaian ini dapat diatur dengan jalan memutar variable resistor pada bagian *feedback*-nya. Panel meter berfungsi untuk membaca intensitas cahaya berupa arus listrik yang telah dikalibrasikan untuk menunjukkan besarnya sudut kemiringan.

Proses karakterisasi dari hasil rancang bangun inklinometer serat optik dilakukan dengan cara mengukur daya keluaran untuk berbagai variasi sudut kemiringan dengan jelajah kemiringan 0 hingga 7 derajat dengan kenaikan per 0.5 derajat, menggunakan optical power meter untuk pembacaan intensitas keluarannya. Pembandingan nilai teori rugi makrobending dan nilai eksperimen untuk berbacaan nilai radius tidak bisa dilakukan secara langsung tetapi dapat dipahami bahwa dengan berubahnya kemiringan maka akan berubah radius makrobending dari sensor serat optik sehingga pengamatan rugi makrobending untuk berbagai nilai kemiringan dapat mewakili pengamatan karakteristik sensor inklinometer.

Proses pengujian inklinometer serat optik ini dilakukan di Laboratorium Optoelektronika Pusat Penelitian Fisika LIPI. Sebelum eksperimen pengukuran rugi makrobending dilakukan terlebih dahulu eksperimen awal yaitu pengukuran panjang gelombang spektrum laser diode (λ) menggunakan optical spectrum analyzer tipe AQ 6310 dari Ando, pengukuran daya keluaran laser dioda sebelum lewat serat optik (P_m), daya keluaran setelah melalui sensor serat optik (P_s) sehingga rugi makrobending untuk berbagai sudut kemiringan dapat dihitung, sedangkan pengukuran daya keluaran dilakukan menggunakan optical power meter tipe ML 9002A dari Anritsu. Untuk menyambung serat optik digunakan optical fiber splicer tipe S176 dari Fitel dan untuk membaca sudut kemiringan digunakan *digital tilt meter* dari Krisbow.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan rugi makrobending untuk beberapa nilai jari-jari lengkungan telah dilakukan menggunakan rumus Persamaan (2) dengan memanfaatkan sarana perhitungan pada software Excel dengan hasil ditunjukkan pada Gambar 4.

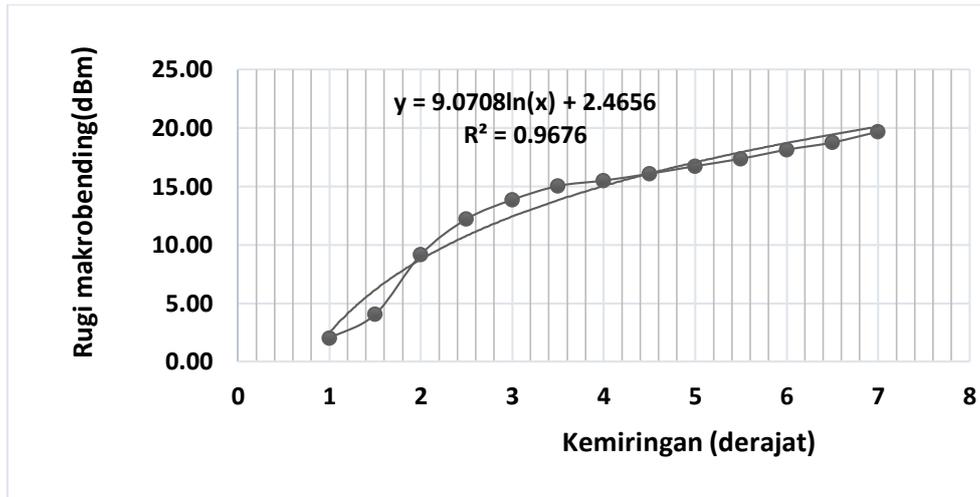


Gambar 4. Grafik perhitungan rugi makrobending pada berbagai variasi jari-jari lengkungan.

Dari pengukuran awal diperoleh daya optik laser diode $P_{LD} = 1,05 \text{ mW}$ (0,21 dBm), daya optik keluaran sensor $P_s = 60,47 \text{ uW}$ (-12,2 dBm) dengan panjang gelombang laser $\lambda = 1310 \text{ nm}$. Nilai rugi/loss makrobending dapat dihitung dengan mengurangi nilai daya optik keluaran sensor serat optik saat pipa dalam kondisi vertikal dengan daya optik saat pipa mengalami kemiringan dan hasilnya disajikan pada Tabel 1 atau Gambar 5.

Tabel 1. Rugi makrobending sistem inklinometer serat optic

Sudut kemiringan ($^{\circ}$)	Loss makrobending (dBm)
0.5	0.00
1	2.04
1.5	4.09
2	9.19
2.5	12.23
3	13.87
3.5	15.05
4	15.51
4.5	16.10
5	16.75
5.5	17.38
6	18.15
6.5	18.77
7	19.69



Gambar 5. Grafik rugi makrobending pada berbagai variasi kemiringan pipa.

Dari hasil perhitungan pada Gambar 4 sesuai Persamaan (2) diperoleh bahwa pada kurva eksponensial ini semakin kecil jari-jari lengkungan maka rugi lengkungan semakin besar atau sebaliknya dengan jelajah radius kelengkungan hingga 5 mm. Hasil pengukuran pada Gambar 5 menunjukkan semakin miring pipa maka semakin besar rugi makrobending yang terdeteksi dan memenuhi hubungan logaritmik $Y = 9.0708\ln(x) + 2.4656$ dengan nilai $R^2 = 0.9676$ dengan jelajah kemiringan dari 0 hingga 7^o dengan ketelitian 0.5^o. Pengamatan pada kedua kurva ini walau bukan merupakan perbandingan langsung nilai teoritis hasil perhitungan dengan hasil eksperimen tapi sudah bisa mewakili pengamatan karakteristik inklinometer serat optik yang telah dirancang dan dapat menentukan nilai jelajah kemiringan serta ketelitian alat. Dalam eksperimen tahap selanjutnya nilai intensitas keluaran perlu dinormalisir dengan nilai intensitas acuan sehingga keluaran inklinometer bisa lebih stabil. Selanjutnya, dapat dikembangkan inklinometer serat optik dengan kemampuan mendeteksi dua arah kemiringan relative terhadap sumbu vertical atau sumbu gravitasi.

KESIMPULAN

Telah diuraikan proses rancang bangun dan karakterisasi sensor pendeteksi kemiringan pipa vertikal didalam tanah yang pada prinsipnya nanti digunakan sebagai sensor kemiringan tanah di kedalaman. Hasil percobaan menunjukkan kemiringan bisa dideteksi dengan jelas mulai dari sudut satu derajat hingga tujuh derajat dengan pola kurva yang dapat didekati dengan pola logaritmik dengan koefisien logaritmik (R^2) = 0,9676 dan pembacaan sudut terkecil sebesar 0,5 derajat. Dalam rangka pengembangan lebih lanjut beberapa faktor penting perlu diperhatikan misalnya penggunaan jasa bengkel mekanik yang lebih presisi serta penyertaan pengaruh temperatur lingkungan dalam analisa data. Disamping itu perlu dilakukan perbandingan pengukuran dengan alat standar yang sudah ada misal inklinometer konvensional agar dapat dikembangkan alat inklinometer serat optik dengan performa yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1].George Machan and Victoria G. Bennett, 2008, Use of Inklinometer as a Geotechnical Instrumentation on Transportation Project Transportation Research Circular, *Transportation Research Circular E-C129*, State of Practice, Transportation Research Board of The National Academies, Washington DC, USA.
- [2].Gerd Keiser, 1991, *Optical Fiber Communications*, McGraw-Hill, Inc., pp. 87, 94-95.
- [3].Tomi Budi Waluyo, Dwi Bayuwati, Bambang Widiyatmoko, 2010, Pembuatan dan Karakterisasi Sumber dan Detektor Cahaya untuk Ekstensometer Serat Optik, *Jurnal Fisika - Himpunan Fisika Indonesia*, ISSN 0854-3046, Volume 10, No. 1, Juni 2010, Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010, hal. 56-67.