

PENGEMBANGAN SISTEM PENGUKURAN GEJALA FISIS LONGSOR SISTEM ELEKTRONIK DAN OPTIK

Bambang Widiyatmoko, Dwi Hanto, dan Prabowo Puranto

Group THz-Photonics, Bidang Instrumentasi Fisis dan Optoelektronika

Pusat Penelitian Fisika – LIPI, Komplek PUSPIPTEK, Setu, tangerang Selatan 15314

Telp. (021) 7560556. E-mail : bamb039@lipi.go.id; widiyatmokobambang@yahoo.com

Abstract

Landslides are a common disaster in Indonesia so that the necessary anticipation through the monitoring of areas prone to the development of instrumentation systems disaster. Design has been done measuring the physical symptoms of landslides using optical and electronic systems. Measured physical symptoms include a shift in soil, and soil strains. Shift in the electronic ground sensors made by using linear and potensio constan current source. The result of measurement is known that this sensor can detect a shift change of 0.5 mm with a maximum shift of 250 mm. Soil strain measured using a fiber optic brag grating (FBG), which changes the transmission peak of FBG was done by using the diode laser wavelength sweeping. Fiber brag grating is an optical sensor that works according to the resonant effect of a refractive index grating lattice, where the resonant wavelength is determined by the lattice distance. From this principle it is when the lattice spacing change due to the strain and temperature changes, the peak resonant wavelength will also change. Changes in the resonant peaks are measured to determine the strain or temperature measurement. measurement Simulation showed that the relationship between strain and change in peak wavelength is linear with slope ($\Delta\lambda / \Delta F$) 1.41 nm / kNewton.

Keywords: Extensometer, linear potentiometers, fiber Brag grating, landslides, system monitoring, disaster

Abstrak

Tanah longsor merupakan bencana yang sering terjadi di Indonesia sehingga perluantisipasi melalui monitoring daerah rawan dengan pengembangan system instrumentasi kebencanaan. Telah dilakukan rancang bangun pengukuran gejala fisis longsor menggunakan sistem optik dan elektronik. Gejala fisis yang diukur meliputi pergeseran tanah, dan strain tanah. Sensor pergeseran tanah elektronik dibuat dengan menggunakan potensio linier dan sumber arus constan. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa sensor ini dapat mendeteksi perubahan pergeseran sebesar 0,5mm dengan pergeseran maksimum 250 mm. Strain tanah diukur secara optik dengan menggunakan fiber brag grating (FBG), dimana perubahan puncak transmisi FBG dilakukan dengan teknik sweeping panjang gelombang laser diode. Fiber brag grating merupakan sensor optic yang bekerja berdasarkan efek resonant dari suatu kisi kisi indek bias, dimana panjang gelombang resonantnya ditentukan oleh jarak kisi kisinya. Dari prinsip tersebut maka bila jarak kisi-kisi berubah karena adanya strain maupun perubahan suhu maka peak panjang gelombang resonantnya juga akan berubah. Perubahan puncak resonant diukur untuk mengetahui strain atau temperature yang mengenainya. Simulasi pengukuran menunjukkan bahwa hubungan antara strain dan perubahan puncak panjang gelombang adalah linier dengan slope ($\Delta\lambda/\Delta F$) sebesar 1,41 nm/kNewton.

Kata Kunci : Extensometer, linear potensiometer, Fiber Brag grating, tanah longsor, system monitoring, kebencanaan

PENDAHULUAN

“Indonesia Siaga Bencana” adalah slogan yang harus dicermati oleh seluruh bangsa Indonesia karena kita sadari bahwa sebegini besar wilayah Negara Indonesia rawan bencana seperti gempa, tsunami, banjir bahkan tanah longsor. Siaga Bencana ini harus diartikan tidak hanya siap menghadapi kalau sudah ada bencana, namun lebih dari itu kita harus dapat memprediksi secara ilmiah kejadian alam penyebab bencana tersebut. Gempa bumi misalnya, secara ilmiah kalau kita dapat mengukur dan memonitor gerakan lempeng bumi secara akurat maka terjadinya gempa bumi dapat diprediksi dengan lebih teliti. Demikian juga dengan tanah longsor, bila kita dapat mengukur secara ilmiah besaran fisis penyebab longsor, maka akan dapat diprediksi secara tepat dan pada akhirnya dapat memberi peringatan dini terhadap bahaya tersebut kepada masyarakat [1]. Namun permasalahan adalah alat alat untuk mengukur dan menganalisa kejadian tersebut umumnya mahal dan belum banyak yang dibuat di dalam negeri, sehingga tidak banyak dipasang di Indonesia, khususnya daerah-daerah yang sebetulnya sangat memerlukan alat-alat tersebut.

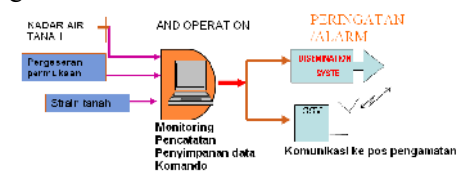
Tanah longsor merupakan kejadian alam dimana satu blok (masa) tergelincir kebawah terhadap masa yang lain. Hal ini banyak disebabkan oleh tidak kuatnya gaya lekat (resisting force) antar lapisan tanah menahan perubahan masa (Driving force) dalam struktur tanah tersebut [2,3]. Driving force tersebut dapat berupa berat gumpalan tanah itu sendiri atau tambahan dari air akibat hujan, sedang melemahnya resisting force dapat disebabkan oleh hilangnya akar tumbuhan maupun melembeknya tanah akibat penambahan air hujan. Bila driving force melebihi resisting force, maka longsor akan terjadi. Dari hasil simulasi yang dilakukan oleh T.Fukuzono dkk, diketahui bahwa bila

terjadi pergeseran salah satu bagian/lapisan tanah terhadap yang lainnya maka menimbulkan gaya berat yang berubah secara eksponensial, sehingga bila tekanan itu dimonitor akan didapatkan kurva tersebut dari perubahan strain nya[3].

Ada beberapa jenis longsor yang sering terjadi dimana biasanya tanah longsor didahului oleh pergeseran pergeseran lapisan tanah di dalam bukit secara group (bongkahan). Untuk itu pokok masalah dalam deteksi longsor adalah perlu sensor pergeseran permukaan, sensor strain dan inklinometer yang bekerja secara relative dan termonitor secara terus menerus [4,5,6,7]. Dalam kaitannya dengan system monitoring tersebut masalah yang harus diselesaikan adalah pembuatan ketiga sensor beserta system bacanya dan kemudian melakukan ujicoba pemasangan lapangan untuk mengetahui unjuk kerjanya. Dalam tulisan ini dikaji beberapa sensor pergeseran tanah baik secara elektronik maupun optik.

METODOLOGI PENELITIAN

Prediksi tanah longsor dilakukan dengan mengukur 3 variabel penting yaitu kadar air, pergeseran permukaan tanah dan strain tanah. Pengukuran dilakukan dengan membuat 3 sensor utama sistem pembacaan dan transmisi data dari lokasi ke stasiun monitoring / pos pengamatan [4]. Gambar sistem secara keseluruhan di tunjukkan dalam gambar 1 dibawah.



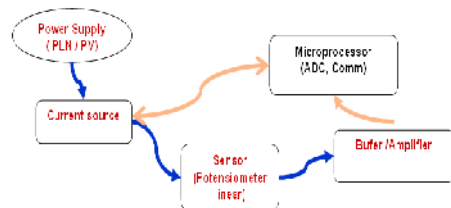
Gambar 1. Blok diagram sistem monitoring tanah longsor.

Tiga buah sensor diperlukan untuk dapat memprediksi akan terjadinya longsor secara presisi, dimana

secara umum perubahan ketiga variabel tersebut harus muncul pada waktu yang sama sehingga sistem komputer yang beroperasi dengan “logic and” akan memberikan peringatan. Peringatan di teruskan ke masyarakat maupun ke tempat monitoring melalui komunikasi radio atau GSM sesuai dengan kondisi daerahnya.

A. Sensor pergeseran tanah elektronis

Sensor pergeseran pada prinsipnya dirancang dan dibuat untuk dapat mendeteksi pergeseran antar lempeng dari suatu tebing. Sensor ini dirancang dengan menggunakan prinsip yang sangat sederhana yaitu menggunakan potensiometer linier. Suatu arus tetap yang dihasilkan dari rangkaian sumber arus teregulasi dialirkan kedalam suatu potensiometer (sensor) akan memberikan tegangan sesuai dengan perkalian antara arus yang mengalir dan tahanan dari potensiometer. Tahanan potensiometer akan berubah dengan pergeseran tanah, karena sistem mekanik dapat mengubah gerakan translasi kedalam gerakan rotasi yang dipakai untuk memutar potensiometer. Diagram sensor seperti gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram sensor pergeseran tanah elektronik



Gambar 3. Photo bentuk jadi contoh produk ekstensometer

Gambar 3 adalah photo dari contoh produk sensor pergeseran tanah elektronik. Dalam blok aluminium ini disamping sistem mekanik terpasang juga seluruh rangkaian elektroniknya. Karakterisasi sensor dilakukan antara lain kestabilan arus, respon sensor dan drift dari sistem sensor.

B. Extensometer optik

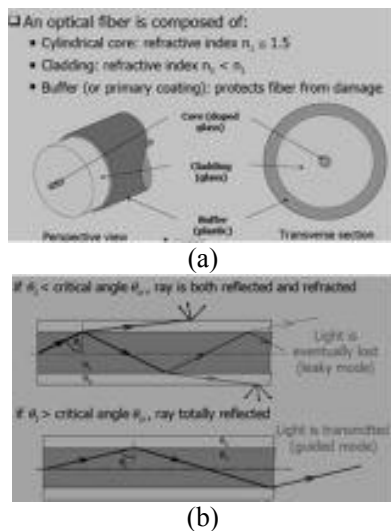
Sistem ekstensometer optis komersial umumnya terdiri atas sistem sensor yang diinstal dimedan pengamatan dan tersambung dengan kabel serat optik sebagai serat masukan dan serat keluaran (lead-in/lead out) serta sistem elektronik terdiri atas sumber cahaya, sistem deteksi serta sistem pengolahan dan pembacaan data yang berlokasi jauh dari sistem sensor dan bisa mencapai jarak beberapa kilometer. Sistem pembacaan data bisa berbasis intensitas cahaya yang diubah sebagai tegangan atau arus; atau bisa juga berbasis frekuensi cahaya.

Kelebihan ekstensometer optis dari ekstensometer elektronik sensor adalah noise rendah karena serat optik tahan terhadap interferensi elektromagnetik sehingga juga bisa lebih presisi serta dapat dipantau dari jarak yang jauh dari sensor karena rugi-rugi serat optik per kilometer sangat rendah (orde 0.01 dBm). Petir atau kilat dan gangguan cuaca lain juga bisa dihindari karena yang terpasang dimedan hanya sistem sensor yang sudah terlindungi secara mekanik.

Permasalahan permasalahan utama dalam pemakaian serat optik sebagai sensor adalah dalam penyediaan sumber cahaya yang stabil dan disain sensor serat optik yang dapat merespons secara konsisten terhadap terhadap pergeseran tanah.

Bagian terpenting dari sistem ekstensometer adalah sensor serat optik. Serat optik (*optical fibre/fiber optic*) merupakan pandu gelombang (cahaya) yang bekerja didasarkan adanya efek

pantulan sempurna oleh karena adanya perbedaan indek bias material. Serat optik terdiri dari inti (*core*) dan pembungkus (*cladding*) seperti ditunjukkan dalam Gambar 4a dan model perambatan cahaya ditunjukkan dalam Gambar 4b[8]. Cahaya akan merambat didalam serat optik karena dipantulkan dengan sempurna pada batas antar core dan cladding. Dalam perambatannya cahaya mengalami pengurangan daya (*loss*) akibat adanya penyerapan oleh material fiber hamburan dan adanya lengkungan (*bending*); sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.

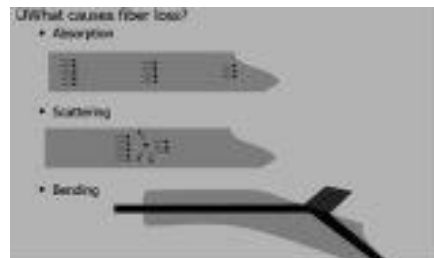


Gambar 4. (a) Skema serat optik dan (b) model perambatan cahaya [16].

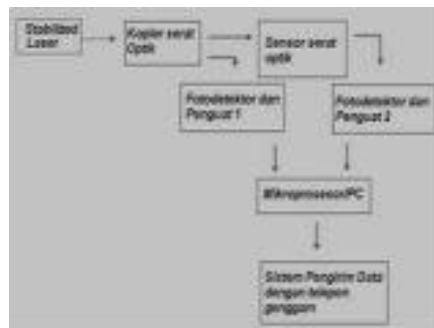
Bending loss (atau rugi rugi pembengkokan) merupakan salah satu dari beberapa sumber loss serat optik. Rusi rugi ini disebabkan oleh pembengkokan serat optik melebihi diameter tertentu. Rugi rugi semacam ini dalam komunikasi serat optik sangat merugikan. Namun dari sisi lain dapat dimanfaatkan sebagai sensor pergeseran dan dapat digunakan sebagai ekstensometer.

Blok diagram dari sensor pergeseran menggunakan serat optik seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.

Keluaran dari sumber cahaya yang distabilkan dayanya dibagi menjadi 2 menggunakan kopler serat optik dengan perbandingan tertentu. Satu bagian ditangkap oleh fotodetektor 1 dan dikuatkan untuk digunakan sebagai daya *reference* sedang bagian lain dimasukan kedalam sensor. Transmisi dari sensor ditangkap oleh fotodetektor 2 serta dikuatkan untuk dipakai sebagai sinyal transmisi. Keluaran dari kedua photodetektor di baca oleh komputer melalui analog to digital untuk selanjutnya diperbandingkan. Apabila terjadi loss pada sensor akibat adanya pergeseran maka sistem baca akan memberi data dan rekaman secara kontinyu untuk selanjutnya sebagai data pergeseran tanah.



Gambar 5. Beberapa penyebab adanya loss dalam fiber [16].

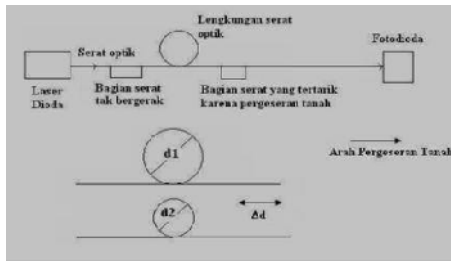


Gambar 6. Blok diagram sistem ekstensometer optik

Gambaran sederhana mengenai bagaimana pengamatan pergeseran tanah menggunakan sensor serat optik yang bagian tengahnya dibuat lengkungan dapat dilihat pada Gambar 7. □d adalah pergeseran tanah yang terjadi searah

dengan perambatan cahaya yang bisa menarik serat optik dan berakibat mengecilnya diameter lengkungan serat optik sehingga keluaran cahaya yang ditangkap oleh fotodioda juga makin kecil karena terjadinya rugi lengkungan serat optik. d_1 adalah diameter lengkungan awal dan d_2 adalah diameter lengkungan serat setelah terjadi pergeseran tanah searah perambatan cahaya.

Pengamatan besarnya pergeseran tanah sebagai fungsi rugi-rugi transmisi cahaya dapat dilakukan pada beberapa posisi sensor agar didapat data yang lebih akurat. Sistem sensor nantinya diletakkan disuatu struktur lereng yang telah diketahui rawan longsor. Data yang diperoleh dapat dimonitor, dicatat, disimpan serta diolah pada PC dengan bantuan suatu sistem pengolah data dan software untuk kemudian dapat dikirim melalui suatu telepon genggam setelah lewat modem atau ditindaklanjuti dengan suatu sistem peringatan dini berupa alarm ke masyarakat sekitar atau dikomunikasikan secara rutin ke pos pengamatan melalui komunikasi dengan telepon genggam.

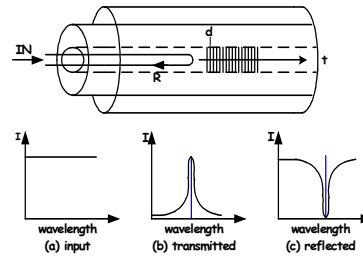


Gambar 7. Gambaran sederhana pengamatan pergeseran tanah menggunakan sensor berupa serat optik yang dilengkungkan.

C. Sensor strain tanah berbasis Fiber Brag Grating

Mekanisme kerja dari FBG ditunjukkan dalam Gambar 8. Panjang gelombang cahaya pantul atau disebut “brag wavelength” sangat tergantung oleh tegangan atau suhu dari elemen

FBG nya. Oleh karena satu elemen dari FBG hanya memantulkan cahaya dalam spektrum yang sempit, maka elemen FBG dapat dikombinasikan dalam beberapa elemen membentuk beberapa sensor atau disebut multiflexing sensor sistem.

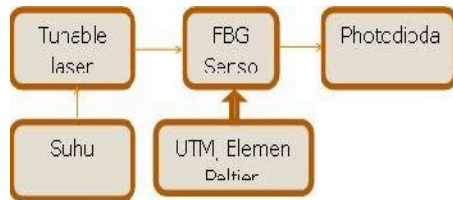


Gambar 8. Stuktur Fiber Brag grating beserta spectrum pantulan dan transmisi

Permasalahan yang timbul adalah bahwa, selama ini pengukuran perubahan puncak resonant dari FBG menggunakan peralatan yang mahal seperti Optical Spectrum analyzer, sehingga perlu dilakukan penyederhanaan. Untuk itu diusulkan dengan teknik sweeping panjang gelombang laser. Blok diagram sistem sepertipada gambar 9, dimana prinsip pengukurannya adalah dengan merubah panjang gelombang laser pada daerah panjang gelombang dari fiber brag grating dan mengukur intensitas transmisinya. Dengan teknik ini berarti akan diperoleh pola transmisi dari FBG yang dipakai, sehingga bila puncak transmisinya berubah akan diketahui dari perubahan intensitas tersebut.

Sistem ini dipakai untuk menguji apakah sesuai dengan pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan optical spectrum analyzer dan apabila ternyata mempunyai kesamaan maka dipastikan dapat dipakai untuk evaluator FBG seperti yang diharapkan. Pengukuran pertama adalah karakterisasi FBG terhadap suhu, dimana pengukuran ini dilakukan dengan mengontrol suhu FBG dan men-

sweep panjang gelombang laser dengan mengontrol suhu operasinya.



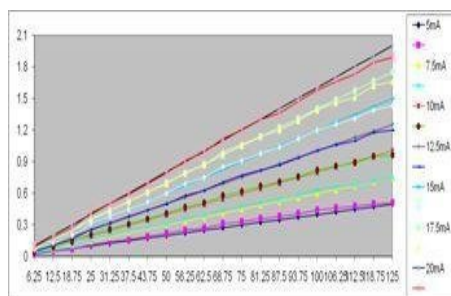
Gambar 9. Sistem evaluator FBG menggunakan teknik sweeping laser.

HASIL PENGUKURAN DAN PEMBAHASAN

a. Karakterisasi sensor pergeseran tanah elektronik

Dari hasil pengukuran stabilitas diketahui bahwa stabilitas arus mencapai 5 uA.

Sesor dibuat dengan suatu system mekanik yang dapat mengubah gerakan translasi menjadi gerakan rotasi dengan memakai kerekan (Pulley) dan kawat baja dimana kawat baja tersebut yang akan dipakai untuk mengetahui retakan tanah dengan menanam diantara 2 pancang dari suatu tebing. Percobaan dilakukan dengan menarik kawat secara presisi dengan mikrometer dan mengamati perubahan tegangan keluaran dari rangkaian elektronik. Perobaan ini dilakukan untuk berbagai besar sumber arus. Hasil percobaan ditunjukkan dalam grafik seperti gambar 10 dibawah.



Gambar 10 Garik antara pergeseran dengan tegangan output pada arus bias 20,17.5, 15, 12.5, 10, 7.5, dan 5 mA

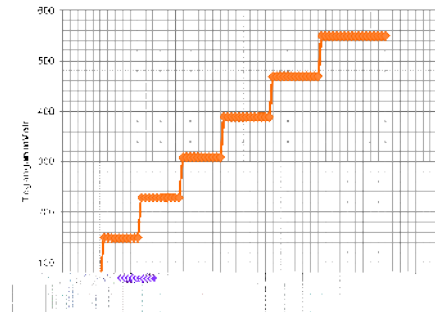
Dari hasil seperti ditunjukkan pada gambar 10 dapat diperoleh kesimpulan bahwa respon sensor untuk berbagai arus injeksi adalah linear dengan slope berbeda sesuai dengan besarnya arus. Perubahan tegangan untuk setiap satuan panjang pergeseran dilihat dengan membaca putaran micrometer dan perubahan tensiangannya dan diperoleh hasil sebesar 80mV/mm pergeseran. Dalam system ini untuk membaca perubahan tegangan dipakai Analog to digital converter (ADC) dengan bacaan minimal 5 mV sehingga dapat disimpulkan bahwa pembacaan minimal dari sensor ini adalah 0,1 mm atau bersesuaian dengan perubahan tegangan 8 mV.

Perangkat lunak dikembangkan dengan memakai bahasa Visual Basic, dimana perangkat ini disamping membaca juga dilengkapi dengan penyimpanan data dan tampilan.

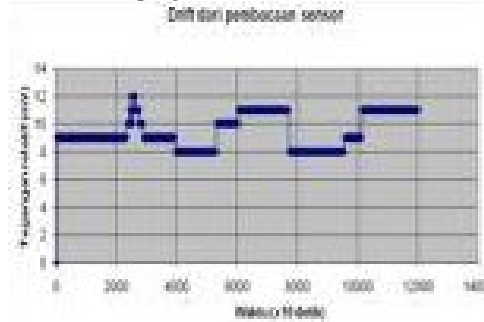
Pengukuran sensitivitas dimaksud adalah untuk mengetahui seberapa kecil pergeseran yang masih bisa dibaca oleh sensor ini utamanya adalah dalam pembacaannya. Pengukuran dilakukan dengan memakai mikrometer skrup untuk menarik kawat dari sensor dan hasil perubahan tegangan dibaca oleh komputer. Untuk memudahkan pengamatan maka dilakukan setiap satu putaran mikrometer atau pergeseran 0,1mm. Gambar 11 adalah hasil baca tiap step pengukuran tersebut. Dari grafik ini terlihat jelas bahwa sensor ini mampu membaca pergeseran sebesar 0,1mm atau satu putaran mikrometer, dimana diketahui bahwa satu kali putaran identik dengan perubahan tegangan sebesar 80 mV.

Pengukuran berikutnya adalah stabilitasnya, karena masalah utama yang harus diperhatikan dalam sensor berbasis potensiometer adalah besarnya drift dari tegangan keluaran untuk jangka waktu yang lama. Untuk itu dilakukan pengukuran drift dengan mengamati

fluktuasi tegangan dalam jangka waktu 24 jam dengan memakai data akuisisi yang dikembangkan. Pengamatan dilakukan untuk nilai pergeseran tertentu dan diukur tegangan keluarannya setiap 10 detik dan 10 kali pengamatan untuk setiap titiknya. Data pengamatan ditunjukkan pada gambar 12 dibawah. Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa fluktuasi tegangan untuk satu posisi yang sama sebesar 4 mVolt atau sebanding dengan pergeseran 0,05 mm. Pergeseran ini lebih disebabkan oleh adanya perubahan atau drift dari komponen elektronisnya seperti tahanan dan kestabilan tegangannya. Pergeseran ini masih bisa ditoleransi karena masih dibawah dari batas pembacaan minimumnya



Gambar 11. Hasil baca sensor untuk step pergerakan 0,1mm.



Gambar 12. Grafik fluktuasi tegangan (Drift) relative terhadap tegangan pembacaan 1660 mVolt, waktu pengamatan 33 jam.

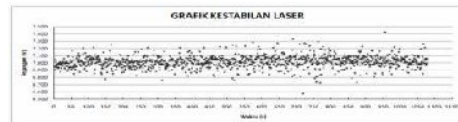
b. Karakterisasi extensometer optik

Berdasarkan sistem seperti dijelaskan pada gambar 6, maka karakterisasi dilakukan dengan mengukur beberapa variabel penting dari sensor antara lain kestabilan sumber cahaya dan pengukuran pergeseran terhadap perubahan daya luaran.

1. Stabilitas sumber cahaya

Stabilitas daya dari laser yang dipakai merupakan faktor penting karena bila ada perubahan daya pada saat operasi dapat diartikan sebagai sinyal perubahan pergeseran. Untuk itu driver laser dilengkapi dengan automatic power control (APC). Pengukuran stabilitas dilakukan dengan meng-set pada daya tertentu dan mengukur fluktuasi luarannya. Hasil pengukuran ditunjukkan pada gambar 13 dibawah, dimana Pengambilan data dilakukan setiap 10 detik selama 3 jam.

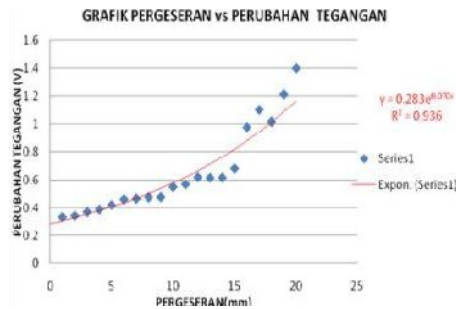
Berdasarkan hasil pengukuran tersebut dapat diketahui bahwa nilai tegangan berkisar diantara 6,7 Volt sampai 7,3 Volt. Dari perhitungan diperoleh nilai rata-rata tegangan 7,016 \pm 0.083 Volt, atau kestabilan lebih kecil dari 1%, sehingga cukup stabil untuk sumber cahaya pada sensor.



Gambar 13. Grafik stabilitas daya laser untuk extensometer optik

2. Pengujian Sensor

Dari pengujian sensor yang dilakukan diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar 14 Grafik Pergeseran vs Perubahan Tegangan

Gambar 14 merupakan grafik hubungan antara pergeseran dengan perubahan tegangan. Perubahan tegangan adalah selisih nilai tegangan, yaitu nilai tegangan awal dikurangi dengan nilai tegangan pada nilai pergeseran yang dilakukan. Pergeseran dilakukan dari 1 mm sampai dengan 20 mm.

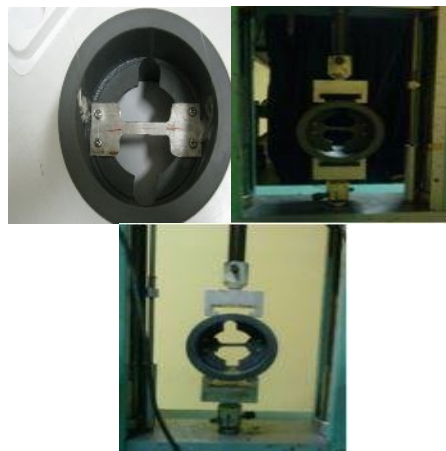
Dari hasil pengukuran tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar pergeseran yang dilakukan semakin besar pula nilai perubahan tegangan. Kenaikan nilai perubahan tegangan, yang artinya semakin kecil tegangan keluaran yang dihasilkan terjadi karena semakin besarnya rugi-rugi yang terjadi akibat diameter lengkungan serat semakin mengecil, sehingga semakin banyak cahaya yang keluar dari inti serat.

c. Karakterisasi sensor strain tanah

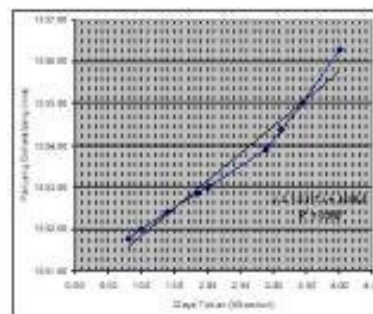
Pengukuran dengan metoda sweeping laser digunakan juga untuk melihat pengaruh tekanan pada sensor pada puncak transmisi FBG. Setu up percobaan sama dengan pengukuran pengaruh temperature, namun untuk pengukuran ini sensor diberi tekanan dengan menggunakan tensile machine. Sensor diberi tekanan tertentu dan diamati puncak transmisinya dengan cara men-sweep panjang gelombang laser. Photo percobaan seperti ditunjukkan pada gambar 15.

Perlakuan tekanan pada FBG berguna untuk memperhitungkan

seberapa besar pergeseran puncak transmisi dari FBG akibat tekanan. Hal ini akan berguna sebagai sumber informasi dalam perancangan FBG sebagai sensor strain tanah. Besarnya tekanan yang diberikan antara lain :0,8 kN , 1 kN ,. 1,4 kN , 1,84 kN , 2 kN , 2,88 kN , 3,12 kN , 3,44 kN dan 4 kN. Grafik hubungan antara pergeseran panjang gelombang terhadap gaya tekan ditunjukkan pada gambar 16, dimana dari bahis tersebut diketahui bahwa respon sensor cukup liner terhadap tekana atau strain yang dikenakan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa hubungan antara strain dan perubahan puncak panjang gelombang adalah liner dengan slope ($\Delta\lambda/\Delta F$) sebesar 1,41 nm/kNewton.



Gambar 15. Percobaan pengaruh tekanan terhadap pergeseran puncak panjang gelombang FBG menggunakan tensile machine.



Gambar 16 : Grafik hubungan antara perubahan panjang gelombang transmisi FBG akibat perubahan tekanan operasi FBG

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan awal yang dilakukan dalam tahun pertama ini dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

- Pembuatan sensor pergeseran tanah secara elektronik didapatkan ketelitian 0,1 mm dan regangan maksimum 150 mm, sehingga sangat memungkinkan untuk diujicobakan dilapangan.
- Dari hasil karakterisasi FBG diperoleh hasil bahwa sesuai dengan kajian teoritis bahwa FBG mempunyai respon yang linear terhadap perubahan tekanan/strain sehingga sangat cocok untuk dipakai sebagai sensor Strain.
- Evaluator FBG yang dikembangkan dengan teknik sweeping laser dapat dipakai sebagai evaluator yang handal dan murah, sehingga perlu dikembangkan lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh anggota group THz-Photonics, P2F – LIPI atas segala support dan kerjasamanya. Penelitian ini dibiayai oleh LIPI melalui program Kompetitif sub program Lingkungan dan Kebencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Andreas Terzis, I-Jeng Wang, et.al., Slip surface Localization in Wireless Sensor Network for Landslide Prediction., Proceeding of IPSN2006, Nashville, Tennessee, USA, April 19-1, 2006
- [2]. H. Iwaki, H. Yamakawa and A. Mita, "FBG based displacement and strain sensor for health monitoring of smart structure" Fifth International conference on motion and vibration, Sidney 4-8 Des 2000
- [3]. T. Fukuzono. Creep model of Kanto Loam and its application to time prediction of landslide. Landslides. (Eds: Chacon, J., Irigary, C and Fernandez). Pages 221-233, 1996
- [4]. Bambang Widiyatmoko., proposal kompetitif 2009 (tidak diterbitkan)
- [5]. M. Ando et.al, "Dependence of fiber bragg grating on its length" Japanese journal of applied physics, Vol 42, No 7A, pp 4234-4235, 2004
- [6]. Keio Fujita, et.al, Dynamics evolution of the spectrum of long-period fiber bragg grating" Applied Optics Vol 44, No 33, 20 Nov, 2005
- [7]. Yoshifumi Suzuki, et.al., Apodization method owing to the finite length of UV laser coherence in fabricating fiber bragg grating, Japanese journal of applied physics vol 45 no 12, 2006
- [8]. Edward Mutafungwa, Lecture I, Introduction of Fiber Optic Communications, Helsinki University of Technology.
- [9]. B. Widiyatmoko and Prabowo Poranto, Pembuatan extensometer elektronik untuk deteksi pergeseran tanah, ASTECHNOVA 2009, Jogjakarta

- [10]. H.H. Mofjeild, V.V. Titov, F.I.Gonzalez, and J.C Newman, "Analytical theory of Tsunami wave scattering in open ocean with application to north pacific., NOAA Technical memorandum OAR PMEL 116, January 2000
- [11]. Koshimura S., F.Imamura and N. Shuto., "Propagations of oblique incident tsunamis on a slope parts II: characteristics of on-ridge tsunamis." Coast engg, Journal, No:41, 165-182, 1999
- [12]. Shoji SAKATA and Bambang Widiyatmoko, "Prospect Application of Laser Tsunami meter for Tsunami Early Warning System in Indonesia" Proceedings of the SIEM 2005 ISSN 1344-7491, Tokyo University of Marine Science and Technology, Japan.