

# Perancangan *Large Deformation Sensor* Untuk Pengujian Model *Submersed Floating Tunnel* (SFT)

Taufiq Arif Setyanto<sup>1</sup>, Chandra Permana<sup>1</sup>

Diterima : 3 Oktober 2011; Direvisi : 14 Oktober 2011; Disetujui : 21 Oktober 2011

## Abstrak

Perancangan sensor untuk pengukuran beban aksial dinamis dengan range pengukuran yang relatif kecil dan tahan air telah berhasil dilakukan. Sensor ini dirancang dengan menggunakan material piezoelectric sebagai element sensornya, *elastic rubber band* (karet silikon) dan lem silikon sebagai elemen pendukungnya. Salah satu karakteristik sensor tersebut yaitu hubungan linearitas antara beban yang diberikan dengan keluaran sensor diperoleh dengan cara melakukan proses kalibrasi dengan menggunakan load cell sebagai sensor pembanding. Selanjutnya, *large deformation sensor* ini digunakan untuk mengukur beban aksial yang terjadi pada mooring line pada salah satu model bangunan lepas pantai yaitu *SFT (Submersed Floating Tunnel)* di UPT BPPH yang diakibatkan oleh adanya gelombang.

**Kata kunci :** *large deformation sensor, piezoelectric material, beban aksial*

## Abstract

*The waterproof sensor for axial dynamic force measurement is developed. The sensor is composed of a piezoelectric material (PVDF Film) as the sensing material, an elastic rubber band (silicon rubber) and a silicon glue. Performance of the sensor that is linearity between applied load and sensor output was examined through experiments using the load cell as the reference sensor. Further, the sensor was applied for measuring the axial load occurred on the mooring line of the submersed floating tunnel model during testing in the MOB of the UPT BPPH.*

**Keywords :** *large deformation sensor, piezoelectric material, axial force*

## PENDAHULUAN

Beban dinamis berupa beban aksial sinusoida adalah beban-beban yang terjadi pada mooring line model uji *Submersed Floating Tunnel (SFT)*. Untuk mendapatkan besar beban aksial yang bekerja pada tali mooring tersebut diperlukan sensor mekanis untuk merekamnya selama dilakukan uji coba model. Dengan mengetahui respon besar beban tali mooring pada pengujian model, beberapa masukan sebagai rekomendasi untuk desain *fullscale* akan sangat bermanfaat.

Laboratorium Hidrodinamika UPT-BPPH sebagai

institusi penelitian di bidang kelautan, yang salah satu kegiatannya adalah melakukan uji *seakeeping* pada bangunan model *SFT (Submersed Floating Tunnel)*, dimana salah satu tujuan pengujian model tersebut adalah merekam gaya-gaya yang bekerja pada tali mooring pada titik-titik tali mooring yang telah ditentukan. Untuk maksud tersebut dibutuhkan sensor mekanis yang diharapkan bisa mengukur gaya-gaya yang terjadi pada tali mooring. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi sensor mekanis tersebut adalah disamping mampu menerima gaya yang relatif sangat kecil, sensor tersebut juga harus sangat ringan dan kedap air. Sensor mekanis berbasis strain gage sebagai

---

1. UPT BPPH – BPPT, Surabaya

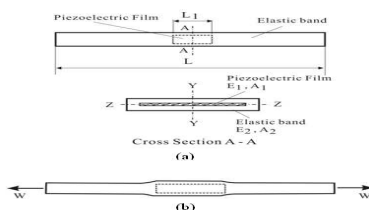
*sensing element*, saat ini merupakan sensor yang paling populer untuk maksud pengujian ini. Akan tetapi beberapa pertimbangan yang sangat perlu diperhatikan adalah harga, proses pembuatan dan diperlukan tambahan peralatan data akuisisinya untuk pengujian model SFT ini.

Oleh karena itu maka dirancang sensor lainnya yang menggunakan material piezoelectric sebagai *sensing element*-nya. Material piezoelectric adalah suatu material yang akan menimbulkan *electric charge* jika material tersebut mengalami perubahan deformasi baik akibat tarik atau tekan yang diakibatkan oleh beban tarik, beban tekan atau *bending*. Salah satu material piezoelectric yang dipakai untuk sensor ini adalah PVDF (Polyvinylidene fluoride) yang telah ditemukan oleh (Kawai 1969). Berdasarkan sifat sifat tersebut maka sensor mekanis untuk pengukuran beban aksial pada proses pengujian model bangunan SFT didesain. Desain sensor ini merupakan pengembangan dari sensor yang desain penulis (Setyanto 2005). Penulis juga telah mengembangkan sensor berbasis *piezoelectric material* untuk pengukuran beban dinamis (Setyanto 2005), dan juga pengembangan lebih jauh untuk *impact sensor* secara umum (Fujimoto 2007)).

Untuk menentukan karakteristik dari sensor tersebut, maka perlu dilakukan proses kalibrasi dengan menggunakan seperangkat komputer dengan dibantu software LABVIEW untuk pembacaan signal keluarannya. Sedangkan beban yang diukur dibandingkan juga dengan sensor mekanis lainnya yaitu *load cell* sebagai alat ukur referensi (sensor pembanding).

## DESAIN SENSOR

Gambar 1 menunjukkan struktur large deformation sensor untuk pengukuran gaya aksial. Piezoelectric material (PVDF Film) dengan panjang  $L_1$  dipasang di bagian tengah karet silicon (rubber band) dengan panjang  $L$  dengan arah memanjang.



Gambar 1 Struktur sensor

Dalam pemasangannya, semaksimal mungkin sumbu PVDF Film berimpit dengan sumbu karet silicon (sumbu Y-Y dan sumbu Z-Z). Dalam hal ini  $E_1$  dan  $A_1$  adalah Modulus Young dan luasan penampang dari material piezoelectric, sedangkan  $E_2$  dan  $A_2$  adalah Modulus Young dan luasan penampang dari karet silicon.

Jika beban aksial  $W$  diberikan pada ujung-ujung sensor tersebut, maka deformasi pada susunan sensor akan terlihat secara ekstrim pada gambar 1.b. Pada bagian yang terdapat PVDF film maka beban  $W$  tersebut akan diterima baik oleh karet silicon maupun PVDF Film. Sehingga strain  $\epsilon$  PVDF film dan karet silicon pada bagian ini akan sama. Sehingga hubungan matematis secara sederhana antara beban  $W$  dan  $\epsilon$  adalah sebagai berikut :

$$W = (E_1 A_1 + E_2 A_2) \times \epsilon \quad (1)$$

Dimana  $E_1 A_1$   $\epsilon$  adalah beban yang diterima oleh PVDF Film sedangkan  $E_2 A_2$   $\epsilon$  adalah beban yang diterima oleh karet silicon. Dari persamaan tersebut diketahui bahwa strain PVDF Film  $\epsilon$  adalah sebanding dengan beban  $W$ . Sedangkan total perpanjangan  $\delta$  dari sensor tersebut adalah

$$\delta = L_1 \epsilon + (L - L_1) W / E_2 A_2 \quad (2)$$

Dengan substitusi persamaan 1 ke dalam persamaan 2 maka didapatkan :

$$\delta = \left\{ L + (L - L_1) \frac{E_1 A_1}{E_2 A_2} \right\} \epsilon \quad (3)$$

Selanjutnya rate beban yang terbagi pada kedua material yaitu PVDF Film dan karet silicon bisa dirumuskan sebagai berikut :

$$W_{\{PVDF\}} : W_2(rubber\ band) = E_1 A_1 : E_2 A_2 \quad (4)$$

Hungan antara charge listrik yang ditimbulkan akibat adanya regangan pada material PVDF Film adalah sebagai berikut :

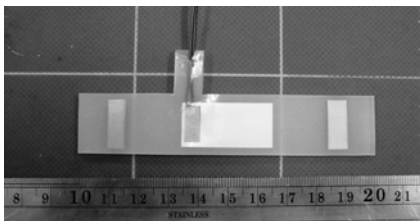
$$Q = k S \epsilon \quad (5)$$

Dimana  $Q$  adalah charge listrik,  $k$  adalah konstanta material dan  $S$  adalah luas permukaan material PVDF Film.

Jika diambil suatu contoh bahwa modulus young PVDF Film adalah 3000Mpa, regangan elastis dari PVDF Film adalah 5%, tebal PVDF Film adalah 0,08 mm dan luasannya 1,2 mm<sup>2</sup> panjangnya 40mm terpasang pada karet silikon dengan modulus young nya 3 Mpa, panjang 100mm, lebar 20mm dan tebal 2mm maka beban yang bisa diterima adalah sebesar 186 N dengan besar regangan 108%. Dari perumusan pada persamaan 4 , didapatkan rasio antara rate beban yang diterima material piezoelectric dan karet silikon adalah 3600 : 180 yang bisa diartikan bahwa bagian yang sangat besar dari porsi beban akan diserap oleh material PVDF Film.

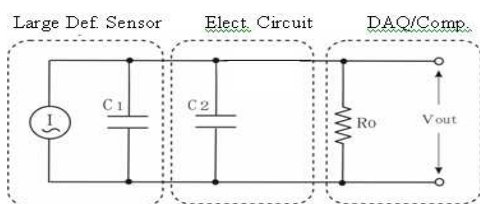
## PERCOBAAN

Untuk mendapatkan karakteristik sensor, seperti misalnya hubungan antara beban dan keluaran sensor, bentuk keluaran signal serta kemiripan keluaran sensor dengan sensor lainnya maka dilakukan percobaan dengan melakukan pemberian beban berulang. Desain sensor yang dipakai untuk digunakan pada pengujian banguna SFT adalah seperti gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Large Deformation Sensor

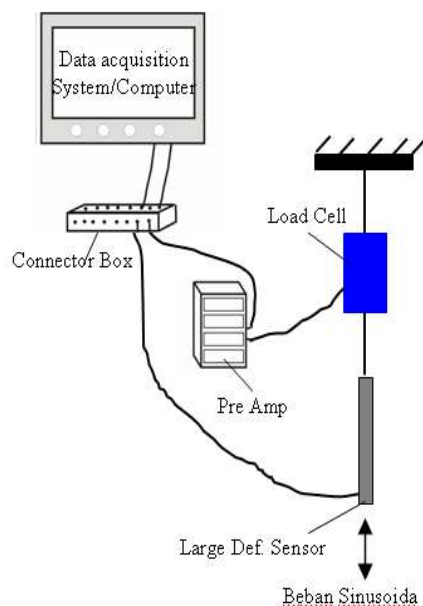
Dalam aplikasinya keluaran sensor dihubungkan secara paralel dengan kapasitor dengan nilai kapasitansinya sebesar 2 $\mu$ F seperti ditunjukkan pada gambar 3 , sehingga keluaran signal material piezo akan sebanding dengan gaya gaya yang diberikan. Dan selanjutnya keluarannya dihubungkan ke connector box dan DAQ dan dibaca dengan software LABView yang ada pada komputer.



Gambar 3 Rangkaian untuk penggunaan sensor

## Set-up Percobaan

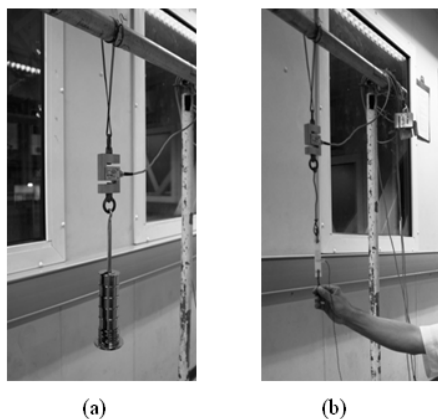
Gambar 4 menunjukkan skematik percobaan untuk mengetahui karakteristik *large deformation sensor* untuk pengujian SFT. Load cell digunakan sebagai sensor referensi dan dipasang seri dengan *large deformation sensor*. Keluaran load cell dihubungkan dengan preamp dengan perbesaran (*gain*) sebesar 1000 kali dan selanjutnya dihubungkan ke connector box dan DAQ pada komputer, sedangkan keluaran *large deformation sensor* langsung dihubungkan ke *connector box* dan ke DAQ pada komputer tanpa mengalami perbesaran signal keluaran.



Gambar 4 Experimental set-up

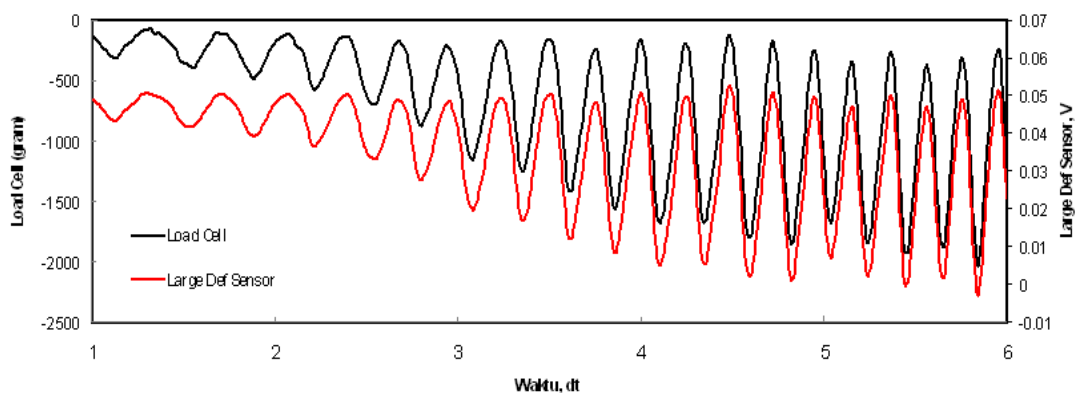
## Karakteristik Sensor

Untuk mengetahui beban dalam unit satuan masa, dan juga bentuk dan kualitas keluaran *large deformation sensor*, diperlukan load cell sebagai sensor pembanding. Gambar 5a menunjukkan kalibrasi terhadap load cell dimana load cell digantung pada sebuah struktur dan dibebani secara bertahap. Gambar 5b menunjukan proses pembebanan terhadap load cell dan *large deformation sensor* yang disusun secara seri dan digantung pada sebuah struktur. Beban sinusoida diberikan terhadap kedua sensor dengan menggunakan tarikan tangan dengan besar tarikan dari lemah ke semakin kuat.



Gambar 5 Photo eksperimen

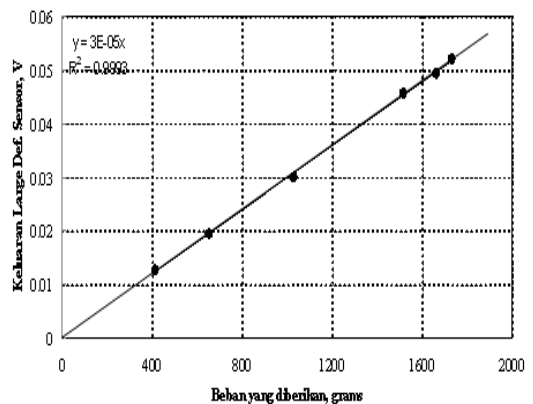
Gambar 6 menunjukkan hasil percobaan tarikan kedua sensor. Ordinat sebelah kiri menunjukkan besar keluaran load cell dalam unit gram, sedangkan ordinat sebelah kanan menunjukkan besar keluaran *large deformation sensor* dalam unit volt. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa keluaran *large deformation sensor* (garis warna merah) mirip dengan keluaran load cell (garis warna hitam) sebagai sensor pembanding. Dari gambar itu pula diketahui perubahan besar beban yang semakin kuat dari tarikan tangan.



Gambar 6 Hasil Keluaran Sensor

## PENGUJIAN MODEL SFT

Hasil desain large deformation sensor pada gambar diatas digunakan untuk pengujian model semisubmersible floating tunnel, dimana salah satu tujuan pengujian tersebut adalah untuk mengetahui



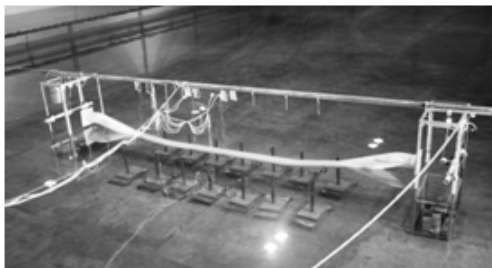
Gambar 7 Hubungan beban dan keluaran sensor

Hasil desain large deformation sensor pada gambar diatas digunakan untuk pengujian model *submersed floating tunnel*, dimana salah satu tujuan pengujian tersebut adalah untuk mengetahui gaya aksial yang diterima oleh mooring line. Sebanyak 12 sensor digunakan untuk mengetahui *tension force* pada 12 *mooring line* pada tempat tempat yang telah ditentukan. Gambar 8a menunjukkan foto model SFT saat sedang dilakukan pengujian. Pada gambar tersebut terlihat beberapa tiang/pipa di kanan dan kiri model sebagai tempat tahanan *mooring line*.

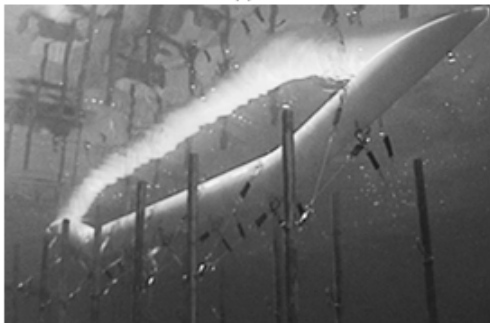
gaya aksial yang diterima oleh mooring line. Sebanyak 12 sensor digunakan untuk mengetahui *tension force* pada 12 *mooring line* pada tempat tempat yang telah ditentukan. Gambar 8a menunjukkan foto model SFT saat sedang dilakukan pengujian. Pada gambar tersebut terlihat beberapa tiang/pipa di kanan

dan kiri model sebagai tempat tambatan mooring line.

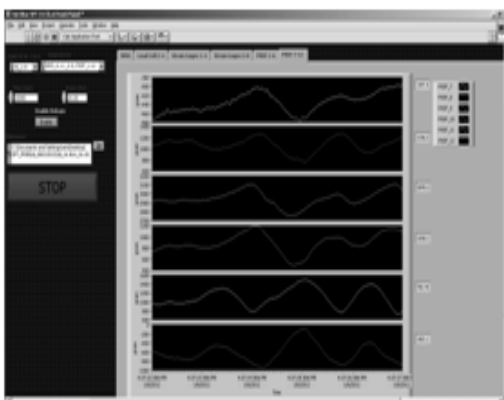
Sedangkan gambar 8b adalah foto bawah air yang menampakkan pemasangan large deformation sensor pada *mooring line*. Keluaran sensor tersebut langsung dihubungkan dengan *connector box* dan NI DAQ 6033E dan selanjutnya diolah/dimonitor dengan menggunakan software LabView. Keluaran sensor-sensor tersebut ditunjukkan pada gambar 9 dibawah.



(a)



Gambar 8 Percobaan model SFT di kolam MOB



Gambar 9 Keluaran sensor dg program Lab View di layar monitor

## KESIMPULAN

Dalam karya tulis ini dipaparkan desain sensor khusus untuk pengukuran gaya aksial yang terjadi pada *mooring line* pada pengujian model *submersible floating tunnel* di UPT BPPH, BPPT Surabaya. Karakteristik sensor tersebut telah didapatkan melalui percobaan dengan pemberian beban sinusoidal berulang dengan variasi besar beban sampai perkiraan beban yang bekerja selama pengujian. Load cell juga digunakan sebagai sensor pembanding terhadap keluaran *large deformation sensor*.

Beberapa kesimpulan yang bisa diambil dari desain *large deformation sensor* untuk pengujian model *submersible floating tunnel* ini adalah sbb:

1. Sensor tersebut bisa menerima beban aksial sinusoidal.
2. Keluaran sensor tersebut mempunyai kesamaan terhadap keluaran load cell sebagai sensor pembanding.
3. Didapatkan linearitas keluaran sensor yang baik sampai beban yang dibutuhkan oleh beban pengujian model SFT.
4. Sensor tersebut tahan resapan air, sehingga sesuai untuk digunakan dalam pengujian bawah air.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fujimoto, Y., Taufiq A. Setyanto (2007), Sheet type impact force sensor by the use of piezoelectric film, The Japan Society of Mechanical Engineers (JSME), Vol.07, No.725 (C).
- Kawai, H. The piezoelectricity of Poly (vinylidene Fluoride), J. Appl. Phys. 8 Japan (1969), pp 975-976.
- Taufiq Arif Setyanto, et al. (2005), Piezoelectric pad sensor for dynamic load measurement, Bulletin of the graduate school of engineering, Hiroshima University, Vol. 54, No. 1.
- Taufiq Arif Setyanto, et al. (2005), Elastic Band Sensor for Large Deformation Measurement, Safety and Reability Research Workshop, Higashi Hiroshima, Japan.