

Perancangan Sensor Lengkung *Multi-axis* dengan LED dan LDR (*Light-dependent Resistor*)

Dian Ahmad Hapidin^{1,a)}, Bayu Adi Nugraha Putra^{1,b)}, Myo Myint Shein^{1,c)} dan Hendro^{1,d)}

¹Laboratorium Fisika Teoretik,
Kelompok Keilmuan Fisika Teoretik Energi Tinggi dan Instrumentasi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} dianahmadhapidin@gmail.com (corresponding author)

^{b)} bay.adi@hotmail.com

^{c)} myomyintshein95@gmail.com

^{d)} hendro@fi.itb.ac.id

Abstrak

Sensor lengkung (bend sensor) banyak digunakan sebagai perangkat antarmuka tubuh, pengukuran aliran fluida, dan kontrol industri. Sensor lengkung yang dijual dipasaran hanya memiliki satu axis kelengkungan, sehingga tidak dapat digunakan untuk aplikasi yang memerlukan pengukuran kelengkungan ke segala arah. Pada paper ini dibangun sensor lengkung yang dapat dilengkungkan ke segala arah menggunakan LDR dan LED. Sensor lengkung dibuat dari bahan elastis yang memiliki koefisien absorpsi tertentu. Sinar dari LED ditembakkan melewati bahan elastis tersebut menuju LDR. Berdasarkan hukum Lambert-Beer intensitas sinar akan berkurang sebanding dengan eksponen jarak tempuh dan koefisien atenuasi. Ketika sensor dilengkungkan, maka jarak tempuh lebih jauh. Sehingga intensitas cahaya akhir pun merupakan fungsi dari kelengkungan sensor. Dari hasil pengujian, sensor yang dibangun memiliki respon cukup cepat dengan sensitivitas yang cukup baik.

Kata-kata kunci: Sensor lengkung, LDR, Lambert-beer

PENDAHULUAN

Sensor lengkung (*bend sensor*) adalah sensor yang dapat mengkonversi perubahan kelengkungan menjadi perubahan besaran listrik. Sensor ini memiliki aplikasi yang luas seperti pengukuran aktivitas fisik [1], pengukuran aliran fluida [1], biomekanik, dan antarmuka tubuh [1-3]. Sensor lengkung biasanya terbuat dari lapisan karbon diatas substrat polimer elastis seperti *polyvinylchloride* (PVC), *polypropylene* (PP), atau *propylene-styrene* (SEPS) [1,4]. Sensor lengkung dengan basis karbon akan berubah resistansinya ketika kelengkungan sensor diubah. Hal ini karena ketika sensor dilengkungkan maka pada lapisan karbon akan muncul retakan-retakan mikro sehingga resistansinya menjadi lebih besar. Sensor jenis ini memiliki sensitivitas dan elastisitas yang baik, akan tetapi hanya bisa dilengkungkan pada satu arah sumbu. Sehingga sensor ini hanya bisa dipakai untuk aplikasi gerakan dengan derajat kebebasan terbatas. Pada aplikasi interface tubuh, sensor ini hanya bisa dipakai pada bagian tubuh dengan jenis sendi engsel misalnya pada lutut, namun tidak dapat diaplikasikan pada bagian tubuh lain yang dapat bergerak lebih bebas seperti sendi peluru dan pelana. Oleh karena itu diperlukan perancangan sensor lengkung yang dapat dilengkungkan ke beberapa arah sumbu (*multi-axis*).

Pada penelitian ini dibuat sebuah prototipe sensor kelengkungan sederhana yang dapat mengukur kelengkungan ke berbagai arah. Sensor kelengkungan ini bekerja berdasarkan prinsip absorpsi cahaya dan dibangun menggunakan tiga komponen utama yaitu sumber cahaya (LED), sensor cahaya (LDR), dan batang sensor elastis [5]. Cahaya tersebut akan diarahkan menuju batang sensor elastis dengan panjang tertentu. Pada batang sensor terdapat material yang memiliki koefisien atenuasi tertentu sehingga cahaya yang melewatinya akan teratenuasi sehingga diujung batang intensitasnya akan berkurang. Intensitas cahaya setelah melewati suatu medium akan berkurang memenuhi persamaan Lambert-Beer [6].

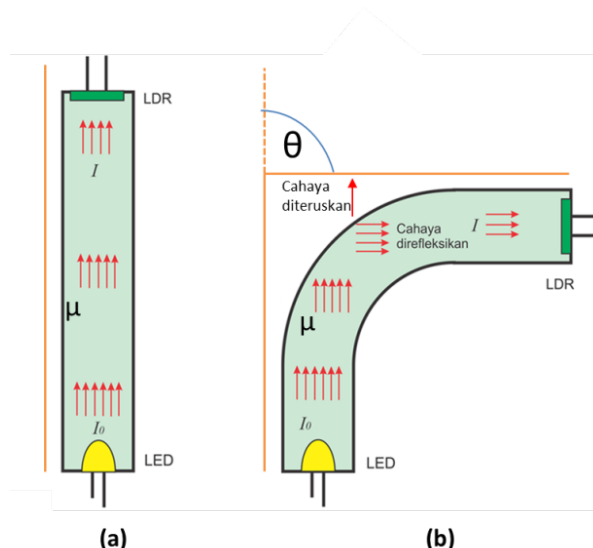
$$I_{final} = I_{initial} \times \exp(-\mu x) \tag{1}$$

Dimana μ merupakan koefisien atenuasi dari medium yang digunakan, dalam percobaan ini digunakan batang silikon [7] dan x merupakan jarak yang ditempuh cahaya dalam medium tersebut. Cahaya yang telah melewati batang sensor akan dideteksi dengan sensor cahaya, berupa Light-Dependent Resistor (LDR). Berdasarkan persamaan 1, intensitas cahaya yang diterima oleh LDR akan berkurang terhadap pertambahan jarak tempuh cahaya. Koefisien atenuasi batang diasumsikan homogen sehingga perubahan intensitas cahaya hanya dipengaruhi oleh jarak tempuh cahaya.

METODE PENELITIAN

Prinsip Kerja Sensor yang Dibangun

Prototipe sensor lengkung ini memanfaatkan perbedaan jarak tempuh cahaya melewati medium *absorber* saat keadaan tidak dilengkungkan dan dilengkungkan. Prinsip kerja sensor digambarkan dengan gambar 1. Cahaya yang berasal dari LED akan dipancarkan melewati medium *absorber* dengan koefisien atenuasi μ dan dideteksi oleh sensor cahaya (LDR). Gambar 1.a menampilkan kondisi awal sensor yang tidak dilengkungkan. Pada kondisi ini cahaya dari LED dengan intensitas awal (I_0) akan teratenuasi ketika melewati bahan absorber, sehingga intensitas akhir (I) akan lebih kecil dan memenuhi persamaan 1. Nilai resistansi dari LDR akan berubah secara eksponensial terhadap intensitas cahaya yang mengenainya. Nilai resistansi LDR pada kondisi awal (saat kondisi tidak melengkung) dijadikan sebagai titik acuan. Kemudian saat sensor dilengkungkan seperti pada gambar 1.b, maka jarak tempuh cahaya akan lebih panjang sehingga intensitas cahaya yang diterima LDR akan berkurang.

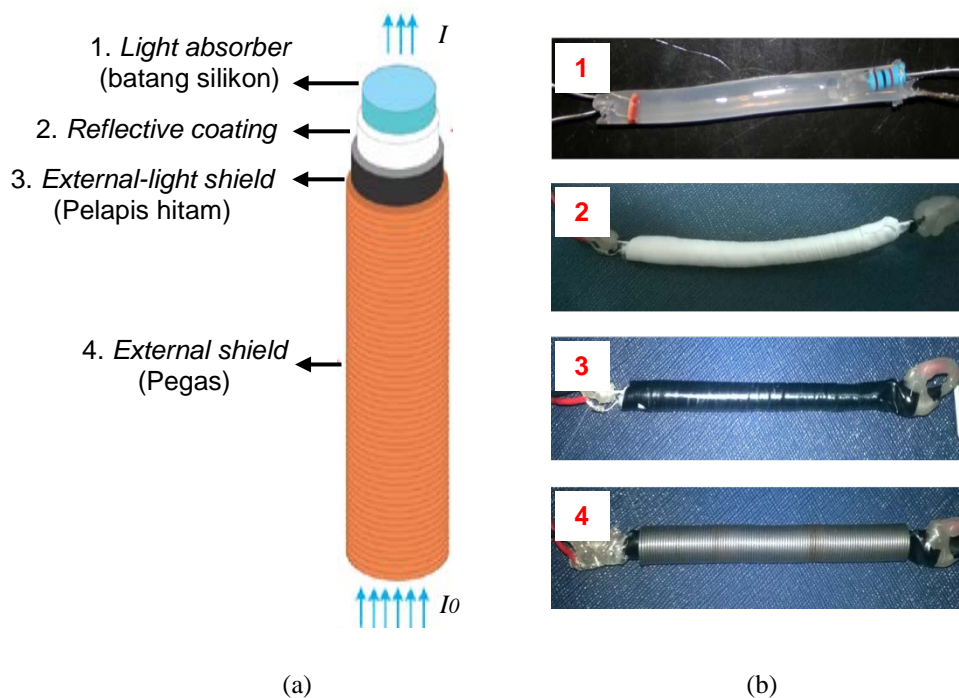


Gambar 1. Cara kerja multi axis bend sensor (a) saat sensor belum melengkung (b) saat sensor melengkung

Desain Sensor Lengkung Multi-axis

Desain akhir protipe sensor dapat dilihat pada gambar 2. Pada prototipe sensor lengkung ini digunakan silikon sebagai bahan *absorber* karena memiliki elastisitas cukup baik. Silikon yang dipakai berasal dari lem silikon untuk kaca yang dicetak menjadi berbentuk batang. Kemudian apabila ditinjau lebih lanjut, ketika sensor melengkung, tidak semua cahaya dari LED akan mencapai LDR. Hal ini karena ada sebagian cahaya yang di transmisikan ke luar sensor, olehkarena itu diperlukan suatu pelapis yang bersifat memantulkan cahaya (*reflective coating*) sehingga mengurangi cahaya yang keluar dari sensor. Dalam penelitian ini digunakan *seal tape* berwarna putih sebagai *reflective coating*.

Selain itu terdapat cahaya dari lingkungan yang dapat mengganggu pengukuran, oleh karena itu diperlukan pelapis yang dapat menghalangi cahaya luar masuk kedalam sistem sensor (*external-light shield*). Pada prototipe ini digunakan selotip berwarna hitam sebagai pelindung cahaya luar. Selain itu sensor memiliki elastisitas baik, sehingga apabila diberikan gaya berlebih dapat membuat bentuk batang sensor berubah. Sehingga digunakan sebuah pegas sebagai pelindung luar agar sistem sensor tidak mengalami perubahan bentuk baik saat sistem sensor dilengkungkan maupun ketika sensor mendapat gaya dari luar.



Gambar 2. (a) Desain akhir sensor lengkung *multi-axis* dan (b) bagian dalam dan lapisan-lapisan sensor.

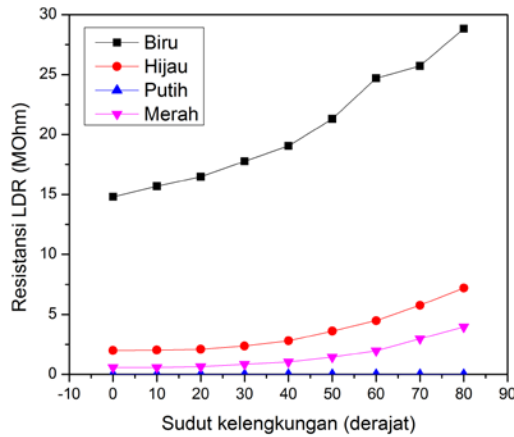
HASIL PENGUJIAN SENSOR

Respon sensor terhadap warna LED yang digunakan

LDR dapat memiliki respon dan sensitivitas berbeda ketika panjang gelombang cahaya yang mengenainya berbeda. Oleh karena itu diperlukan pengujian untuk menentukan warna cahaya LED yang paling optimum untuk desain sensor lengkung ini. Warna cahaya LED yang diuji yaitu warna merah, biru, putih dan hijau. Proses pengujian dilakukan sesuai prosedur yang dijelaskan oleh referensi 4, yaitu dengan melengkungkan sensor kemudian nilai resistansinya dibaca oleh multimeter. Sensor dilengkungkan dengan variasi kelengkungan setiap 10° dari sudut kelengkungan 0° sampai 120° . Pengukuran tersebut dilakukan untuk setiap variabel warna LED (merah, biru, hijau, putih).

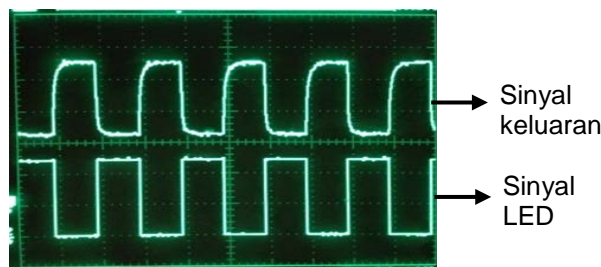
Gambar 3 adalah hasil pengujian sensor lengkung dengan variasi warna LED. Bahan absorber memiliki koefisien absorpsi (μ) yang berbeda untuk setiap energi foton yang ditembakkan, hal ini dibuktikan oleh perbedaan nilai intensitas cahaya yang ditangkap oleh LDR pada panjang gelombang berbeda. Berdasarkan grafik pada gambar 3, warna LED biru memberikan respon sensor lengkung yang paling sensitif. Apabila

melihat besar perbedaan resistansi pada sudut kelengkungan minimal dan maksimal, diketahui LED dengan warna biru pula yang paling besar perbedaannya sehingga mampu untuk mendeteksi perubahan sudut yang kecil. Dengan pertimbangan tersebut maka LED biru yang akan digunakan untuk sumber cahaya pada sistem sensor lengkung.



Gambar 3. Grafik perbandingan perubahan resistivitas terhadap kelengkungan pada tiap variasi warna LED.

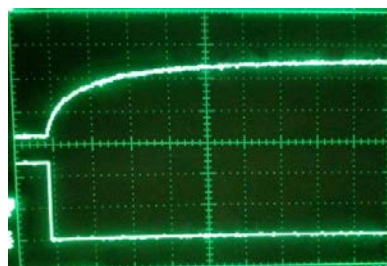
Kecepatan respon sensor



(a)



(b)



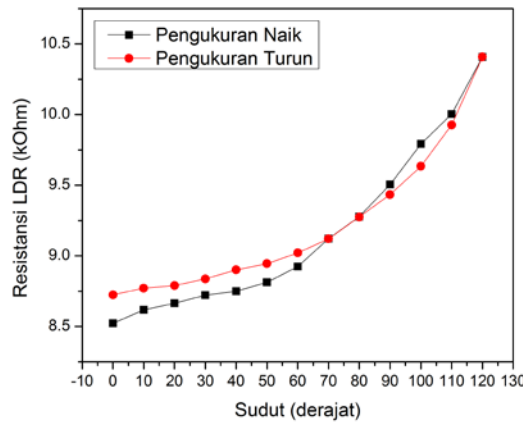
(c)

Gambar 4. Grafik (a) sinyal *input* pada LED (bawah) dan *output* LDR (atas), (b) sinyal saat *fall time* dan (c) sinyal saat *rise time*.

Kecepatan respon sensor diuji dengan melihat waktu turun (*fall-time*) dan waktu naik (*rise-time*). Pengujian ini dilakukan dengan memberikan sinyal tegangan kotak kepada LED kemudian output dari LDR diamati dengan osiloskop. Karena *output* dari LDR adalah resistansi maka diperlukan suatu rangkaian pembagi tegangan agar outputnya menjadi tegangan sehingga dapat diamati dengan osiloskop. Hasil pengukuran menggunakan osiloskop ditunjukkan oleh gambar 4. Pada gambar 4.a sinyal bawah adalah pulsa cahaya dari LED sedangkan sinyal atas adalah sinyal *output* LDR. Apabila sinyal-sinyal tersebut diperbesar seperti pada gambar 4.b dan 4.c, dapat diukur nilai *rise-time* dan *fall-time* sensor. *Rise-time* sensor lengkung bernilai 183 milisekon dan *fall-time* nya bernilai 100.4 milisekon. Dari hasil ini dapat disimpulkan sensor lengkung yang dibangun memiliki respon cukup cepat.

Histeresis sensor

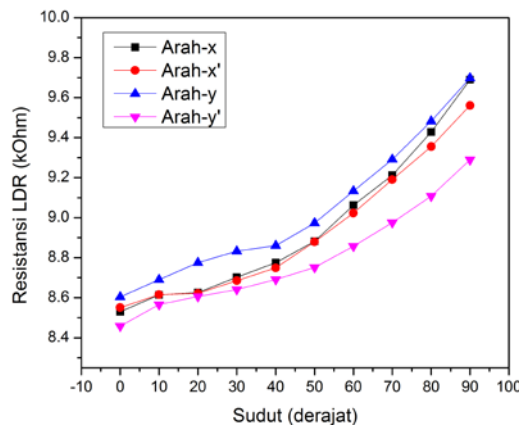
Histeresis menunjukkan apakah respon sensor sama ketika pengukuran naik atau pengukuran turun. Pengujian histeresis dilakukan dengan mengukur resistansi LDR pada kondisi awal sebelum dilengkungkan hingga kelengkungan maksimal (120^0) dengan rentang sudut 10^0 , kemudian pengukuran dilakukan pula pada kondisi kelengkungan maksimal (120^0) hingga kondisi awal. Data percobaan dapat dilihat pada gambar 5. Dari gambar terlihat bahwa respon sensor pada proses penambahan sudut dan pengurangan sudut kelengkungan berbeda. Hal ini mengindikasikan kemungkinan adanya deformasi bentuk sensor pada saat dilengkungkan atau bahan pembangun yang digunakan pada sistem sensor (bahan *absorber* dan pelapis-pelapis) tidak terlalu elastis. Medium yang tidak terlalu elastis menyebabkan bentuknya tidak lekas kembali ke kondisi semula setelah sensor dilengkungkan. Bahkan apabila sensor dilengkungkan berulang-ulang maka dimensi sensor dapat berubah. Sehingga bahan pembangun sensor harus memiliki elastisitas baik.



Gambar 5. Grafik resistansi LDR terhadap sudut kelengkungan yang dilakukan pada pengukuran sudut yang ditambah (naik) dan dikurang (turun).

Respon lengkungan empat arah

Pengujian respon sensor lengkung ke empat arah dilakukan dengan melengkungkan sensor ke arah x, x', y dan y'. Hasil pengujian ditunjukkan oleh gambar 6. Pada gambar ini dapat dilihat nilai resistansi sensor berbeda untuk setiap axis kelengkungan, namun secara keseluruhan bentuk kurva yang didapat tetap sama. Hal ini dapat disebabkan oleh bentuk sensor yang tidak silinder sempurna, sehingga terdapat perbedaan pada hasil pengukuran kelengkungan di setiap sumbu.



Gambar 6. Grafik resistansi LDR terhadap sudut kelengkungan pada 4 sumbu.

KESIMPULAN

Sistem sensor yang telah dibuat dapat digunakan sebagai *multiple axis bend sensor* namun terdapat *delay* pada *rise time* sebesar 183 milisekon dan pada *fall time* 100.4 milisekon. Selain itu terdapat beberapa sifat sensor dimana pengukuran kelengkungan dengan cara pengukuran naik dan pengukuran turun memiliki perbedaan respon hal ini dikarenakan stress pada saat kelengkungannya diperbesar, dan ketika dikembalikan pada kondisi semula, sifat medium tidak langsung berubah menuju kondisi semula, akan tetapi membutuhkan waktu.

REFERENSI

1. G. Saggio, F. Riillo, L. Sberini dan L. R. Quitadamo, *Resistive flex sensors: a survey*, Smart Mater. Struct. **25** (2016) 013001.
2. G. Saggio, *Mechanical model of flex sensors used to sense finger movements*, Sensors and Actuators A **185** (2012) 53-58.
3. G. Saggio, *A novel array of flex sensors for a goniometric glove*, Sensors and Actuators A **205** (2014) 119-125.
4. M. Sajid, H. W. Dang, K. H. Na dan K. H. Choi, *Highly stable flex sensors fabricated through mass production roll-to-roll micro-gravure printing system*, Sensors and Actuators A **236** (2015) 73-81.
5. A. Wego, *Accuracy simulation of an LED based spectrophotometer*, Optik - International Journal for Light and Electron Optics **124** (2013) 644-649.
6. M. S. Abidin, A. Rajak, R. A. Salam, M. M. Munir dan Khairurrijal, *Measurement of Glucose in Blood Using a Simple Non Invasive Method*, Materials Science Forum **827** (2015) 105-109.
7. Ces Silicone Europe, *Silicones: Sealant and Adhesive*, The Art of Bonding (2015).