

STRAIN GAGE PADA BATANG KANTILEVER SEBAGAI SENSOR MASSA

¹Arif Rahkman Suharso, ²Anang Suryana, ³Yudi Nata
^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, ³Program Studi Teknik Mesin
¹Politeknik Maritim Negeri Indonesia, ^{2,3}Sekolah Tinggi Teknologi Nusa Putra
¹Jl. Pawiyatan Luhur I/1 Bendan Dhuwur Semarang, Jawa Tengah
, ^{2,3}Jl. Raya Cibolang Kaler No.21 Kab.Sukabumi,Indonesia
e-mail : ¹arif.rahkman@polimarin.ac.id, ²anang.suryana@nusaputra.ac.id, ³yudinata@nusaputra.ac.id

Korespondensi : ¹arif.rahkman@polimarin.ac.id

ABSTRAK

Alat ukur massa telah banyak dikembangkan dengan berbagai metode. Dalam perancangannya, alat ukur massa disesuaikan dengan obyek yang akan di ukur baik jangkauan maupun bentuknya. Hal ini terkait dengan sensitivitas yang dapat dihasilkan oleh alat ukur massa. Salah satu transduser untuk pengukuran massa yang dapat mendeteksi perubahan massa kecil adalah strain gage. Pada penelitian dilakukan perancangan dan pembuatan prototipe sensor massa menggunakan strain gage tipe uniaxial dengan hambatan 120 ohm dan batang kantilever dengan panjang 2 cm, lebar 1 cm, ketebalan 20 μ m yang memanfaatkan defleksi dari permukaan batang. Gejala defleksi terjadi akibat penambahan massa pada salah satu ujung batang. Massa sebagai pembeban dikalibrasi menggunakan neraca ohaus merk PioneerTM tipe PA214. Defleksi yang terjadi dideteksi menjadi strain oleh transduser strain gage yang terpasang pada permukaan kantilever. Melalui rangkaian elektronis jembatan Wheatstone, diperoleh persamaan karakteristik prototipe alat ukur massa yang menyatakan hubungan antara tegangan, V, dalam milivolt, dan massa, m dalam gram, adalah $V = -3,36667m + 38,49556$. Pada penelitian ini juga akan dilakukan sistem akuisisi data ke PC untuk disimpan pada database

Kata kunci : batang kantilever, jembatan Wheatstone, massa, strain gage, transduser

ABSTRACT

Mass measuring instruments have been developed with various methods. In its design, the mass measuring instrument is adjusted to the object to be measured, both its range and shape. This is related to the sensitivity that can be produced by mass measuring instruments. One of the transducers for mass measurement that can detect small mass changes is the strain gage. In this research, the design and manufacture of mass sensor prototypes using a uniaxial strain gage type with 120 ohm resistance and a cantilever rod with a length of 2 cm, 1 cm width, and 20 μ m thickness utilizing the deflection of the stem surface. Symptoms of deflection occur due to the addition of mass at one end of the stem. The mass as a load is calibrated using a balance sheet of the to the cantilever surface. Through the Wheatstone bridge electronic circuit, the prototype equation of mass measuring instrument PioneerTM brand type PA214. The deflection that occurs is detected to be a strain by a strain gage transducer attached characteristics is obtained which states that the relationship between voltage, V, in millivolts, and mass, m in grams, is $V = -3.36667m + 38.49556$. In this research, a data acquisition system will also be carried out to a PC to be stored in the database.

Keywords: cantilever rod, Wheatstone bridge, mass, strain gage, transducer

I. PENDAHULUAN

Perancangan sistem pengukuran untuk rekayasa fisika banyak didasarkan pada penerapan model teoritis. Salah satunya adalah sistem pengukuran massa yang memanfaatkan gejala strain pada material yang disebabkan oleh penambahan massa^[1].

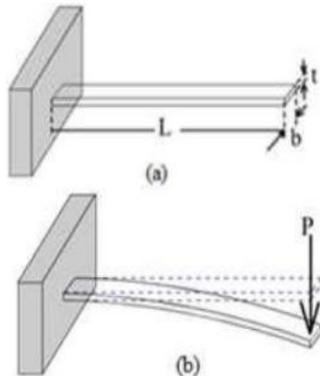
Nilai perubahan strain pada material akibat gaya, mempunyai skala yang sangat kecil, sehingga pengukuran strain harus dilakukan dengan alat ukur yang berskala mikro. Untuk mengetahui perubahan strain secara langsung akibat gaya, maka secara elektronis dapat menggunakan sensor atau transduser strain gage. Strain gage adalah sebuah transduser pasif yang mengubah suatu pergeseran mekanis menjadi perubahan resistansi^[2].

Sensor strain gage mempunyai perubahan nilai resistansi sehingga membutuhkan rangkaian jembatan Wheatstone untuk menghasilkan keluaran tegangan. Dengan adanya transduser secara elektronis maka dapat juga dilakukan perancangan instrumentasi pengukuran dengan perekaman data menggunakan database.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Batang Kantilever dan Strain Gage sebagai Sensor Massa

Kantilever yang digunakan dalam desain alat ukur massa ini menggunakan bentuk balok dengan panjang (L), tinggi (t) dan lebar (b) yang diberi gaya tekan (P) seperti Gambar 1.



Gambar 1. Batang kantilever. (a) tanpa gaya tekan; (b) ada gaya tekan.

Dari Gambar 1, didapatkan hubungan antara massa dan strain yang dinyatakan sebagai[3]:

$$\epsilon = \frac{6 P L}{E b t^2} m \quad (1)$$

Dengan:

- ϵ = strain
- t = tebal kantilever
- E = modulus elastisitas
- g = percepatan gravitasi
- L = panjang kantilever
- m = massa beban
- b = lebar kantilever

Strain gage dapat disatukan (bonded) ke berbagai bagian guna mengukur strain yang diberikan padanya. Strain gage terbuat dari foil atau kawat tahanan berdiameter kecil. Tahanan dari foil berubah terhadap perubahan panjang jika pada gage yang disatukan mengalami tarikan atau tekanan. Perubahan tahanan ini sebanding dengan strain yang diberikan dan diukur dengan jembatan Wheatstone yang dipakai secara khusus. Sensitivitas sebuah strain gage dinyatakan sebagai faktor gage (Ks)[4,5].

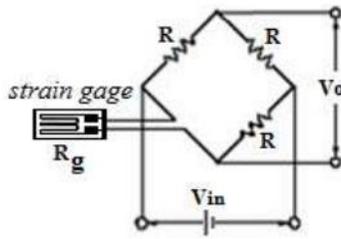
$$K_s \triangleq \frac{dR/R}{dL/L} \quad (2)$$

Dengan :

- R = resistansi
- L = panjang strain gage
- dR = perubahan resistansi
- dL = perubahan panjang strain gage

Resistansi dari strain gage tidak dapat diukur secara langsung tetapi dapat diukur melalui sebuah arus yang melewati rangkaian resistor. Perubahan resistansi dari strain gage biasanya diukur dengan menggunakan konfigurasi jembatan Wheatstone[6].

Pada penelitian ini menggunakan jembatan quarter yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi Sistem 1-gage

Pada Gambar 2, apabila hambatan strain gage bernilai $R_g = (R - \Delta R)$ dan ketiga resistor masing-masing bernilai R . Ketika R diasumsikan jauh lebih besar dari nilai ΔR , maka tegangan keluaran pada jembatan quarter (V_o) adalah:

$$V_o = \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R} v_i \quad (3)$$

Substitusi antara persamaan (2) dan (3) diperoleh tegangan keluaran (V_o).

$$V_o = \frac{1}{4} K_s \varepsilon V_i \quad (4)$$

dengan:

- V_o = tegangan keluaran
- k_s = faktor gage
- V_{in} = tegangan masukan
- ε = strain

Untuk mengetahui semua hubungan antara strain pada batang kantilever, faktor gage pada transduser strain gage, dan tegangan keluaran pada jembatan quarter, maka harus dilakukan substitusi pada persamaan (1) dan (4) sehingga diperoleh persamaan (5).

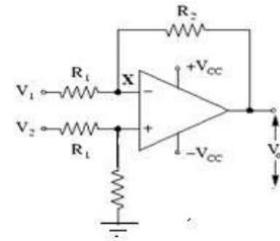
$$V_o = V_i \left[\frac{3K x g}{2 E b t^2} m \right] \quad (5)$$

dengan:

- V_o = tegangan keluaran
- b = lebar kantilever
- V_{in} = tegangan masukan
- t = tebal kantilever
- ε = strain
- g = percepatan gravitasi
- E = modulus elastisitas
- m = massa beban
- L = panjang kantilever

B. Penguat Operasional

Pada Gambar 3, memperlihatkan bagaimana sebuah op-amp yang digunakan sebagai penguat diferensial.



Gambar 3. Penguat operasional

Karena penguat operasional memiliki impedansi tinggi di antara terminal-terminal masukannya, maka secara virtual tidak ada arus yang mengalir melalui op-amp di antara kedua terminal masukannya. Jadi tidak ada beda potensial di antara kedua terminal masukan, dan oleh karena itu keduanya berada pada potensial yang sama yaitu X . Tegangan V_2 adalah tegangan pada resistor R_1 dan R_2 . Jadi terdapat sebuah rangkaian pembagi tegangandengan besar potensial pada masukan non-pembalikyang sama dengan potensial pada titik X yaitu V_X sebagai[7].

$$\frac{V_x}{V_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (6)$$

Arus yang melewati resistor umpan balik pasti sama dengan arus yang mengalir dari V_1 melewati R_1 , jadi.

$$\frac{V_{ou}}{R_2} = V_x \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right) \frac{V_1}{R_1} \quad (7)$$

Dengan substitusi V_X dari persamaan (6) dan persamaan (7), maka diperoleh,

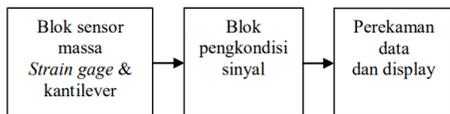
$$V_{ou} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Dengan :

- V_{out} = tegangan keluaran op-amp
- V_1 dan V_2 = tegangan masukan op-amp
- R_2/R_1 = penguatan (gain) op-amp

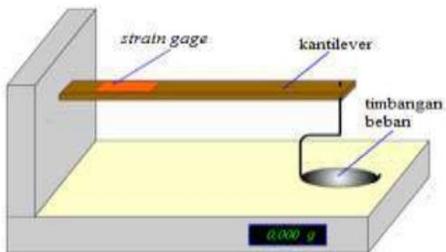
III. METODOLOGI PENELITIAN

Desain sistem instrumentasi pembuatan alat ukur massa dengan kantilever dan strain gage diperlihatkan dalam bentuk diagram pada Gambar 4, terdiri dari blok sensor massa yang menggunakan strain gage tipe uniaxial yang menyatu pada permukaan batang kantilever, dan beban timbangan yang tergantung pada salah satu ujung kantilever, blok catu daya (power supply), pengkondisi sinyal, display serta blok perekaman data secara database.



Gambar 4. Diagram pembuatan alat ukur massa

Sinyal keluaran dari strain gage selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian jembatan quarter, kemudian dikuatkan dengan penguat operasional. Semuanya dikemas dalam satu casing box bersamadengan rangkaian catu daya dan blok mikrokontroler, serta LCD (display), seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Desain timbangan

Untuk mendapatkan hubungan antara massa dengan tegangan pada batang kantilever dan strain gage dilakukan proses kalibrasi menggunakan anak timbangan (timbangan) dari aluminium foil. Anak timbangan ini telah ditentukan dan diukur massa masing-masing 0,5 gram menggunakan neraca ohaus merk PioneerTM tipe PA214.

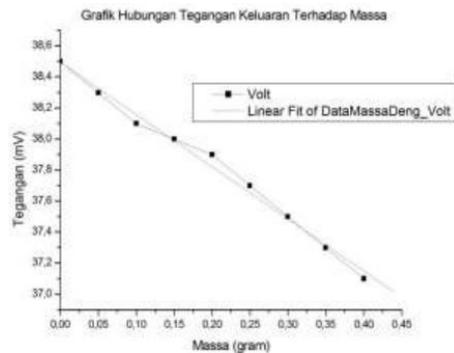
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi dilakukan dengan non-zero calibration pada tegangan, artinya tegangan keluaran tidak menunjukkan nol ketika belum diberi anak timbangan sebagai pembeban (tanpa pengaturan zero offset).

Variasi massa diperoleh dengan menambahkan timbal ke dalam beban timbangan sehingga terjadi perubahan tegangan keluaran pada jembatan quarter yang diukur dengan multimeter digital sebagai data awal untuk menentukan besarnya penguatan yang harus diberikan pada penguat operasional. Hasil kalibrasi dengan timbal dalam grafik pada kalibrasi ini dilakukan dengan cara menambahkan karakteristik yang ditunjukkan pada Gambar 6.

timbangan satu per satu sampai dengan beban total sekitar 4,5 gram timbal, selanjutnya respon tegangannya dicatat (pengukuran naik).

Hasil yang diperoleh untuk pengukuran naik dan turun antara penambahan massa dan pengurangan massa memberikan respon tegangan yang sama. Grafik karakteristik untuk pengukuran naik dan turun seperti pada Gambar 6 di bawah ini.

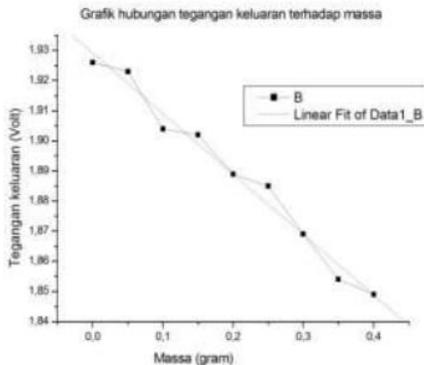


Gambar 6. Grafik Karakteristik Kalibrasi tegangan keluaran jembatan quarter

Dari hasil karakterisasi alat yang telah dibuat, diperoleh persamaan karakteristik adalah $V = - 3,36667m + 38,49556$. Persamaan karakteristik ini menyatakan hubungan antara tegangan dan massa yang selanjutnya akan digunakan untuk menentukan besarnya penguatan pada penguat operasional. Setelah penguat operasional diberi penguatan 50 kali, kemudian kalibrasi dilakukan kembali dengan cara mengukur

timbangan yang sama dengan mengukur tegangan keluaran yang didapatkan dari tegangan keluaran penguat operasional.

Hasil kalibrasi dengan timbal dan pengukuran tegangan keluaran dari penguat operasional diperlihatkan dengan grafik karakteristik yang ditunjukkan pada Gambar 7. Grafik karakteristik untuk pengukuran naik dan turun setelah diberi penguatan 50 kali seperti pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Grafik Karakteristik Kalibrasi tegangan keluaran penguat operasional

Dari hasil karakterisasi alat yang telah dibuat, diperoleh persamaan karakteristik adalah $V = -0,17000m + 1,92533$. Persamaan karakteristik ini menyatakan hubungan antara tegangan dan massa. Error data tegangan keluaran dari sistem rangkaian terhadap penambahan massa sebesar 1,06 %. Error data dihitung menggunakan metode least mean square. Selanjutnya akan digunakan untuk antarmuka pada LCD dan data masukan pada USB port sebagai data masukan untuk diolah secara database.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil karakteristik dan kalibrasi dapat disimpulkan bahwa pembuatan alat ukur massa menggunakan batang kantilever dan strain gage memiliki karakteristik yang menyatakan hubungan antara tegangan dalam volt, V, dan massa dalam gram, m, adalah $V = -0,17000m + 1,92533$. Unjuk kerja dari alat ukur massa yang dibuat sangat baik

di mana linieritas yang sangat tinggi dan error histeresis yang sangat rendah.

5.2 Saran

Sebaiknya kedepan digunakan data yang lebih banyak dan kompleks, hal ini agar lebih optimal dalam proses akurasi metode yang dipilih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] FEA-Opt Technology. "Hooke's Stress and Strain Calculation", Uniform Plate Analysis An Engineers Toolbox Calculation Module (2005), Url. http://www.feaoptimization.com/ETBX/uplate_help.html (diakses 8 Pebruari 2010).
- [2] Fraden, J. "Handbook of modern sensors", Physics. Designs and Applications, Springer, 2003
- [3] Mechanical Engineering. "Strain gage experiment", Departement of Mechanical Engineering, University of Massachusetts Lowell, 2005.
- [4] A Measurements Group Strain Smart. "Strain Gage Measurement System", Design and Construction, Hypertext Publication (2007): www.measurementsgroup.com (diakses 12 Pebruari 2011).
- [5] Doebelin, Ernest O. Measurement systems : application and design / Ernest O. Doebelin, Fourth Edition, 2004.
- [6] Kyowa, Electronic Instrument co., LTD. "How Strain Gage Work", Sensor System Solutions, Japan, 2006.
- [7] Bolton, W. Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol, Erlangga, Jakarta, 2006.