



PERANCANGAN TIMBANGAN LOAD CELL TIPE S

DESIGN OF WEIGHT SENSOR LOAD CELL TYPE S

Robby Debriand, Martin Doloksaribu, Irvando Damanik

Balai Besar Logam dan Mesin, Jl. Sangkuriang No.12 Kota Bandung 40135
Email: roddy-debriand@kemenperin.go.id

Abstrak

Telah dirancang 3D model Load Cell tipe S berdimensi 130 mm x 84 mm x 10 mm berbahan aluminium 6061. Model tersebut dianalisis *finite element* dengan cara diberikan beban F [N] untuk mengobservasi regangannya (*strain*). Model ini dianalisis juga secara matematik. Karena konstruksi yang rumit untuk analisis matematik, maka model disederhanakan (asumsi) dengan memotong model menjadi 2 bagian identik (*Half Model Analysis*). Dengan melakukan pendekatan rumus *elastic element* dan *cantilever* maka dihasilkan regangan, tegangan output dan sensitivitasnya. Sensitivitas load cell adalah 0.271 mV/N (matematik), 0.231 mV/N (*Full Model*) dan 0.248 mV/N (*Half Model*). Dapat dilihat bahwa nilai sensitivitas setiap analisis tidak jauh berbeda.

Kata kunci: Aluminium, elemen elastik, *load cell*, regangan, sensitivitas.

Abstract

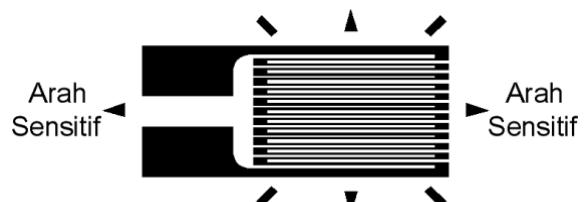
3D model of Load Cell type S has dimension 130 mm x 84 mm x10 mm made of aluminum 6061. The model is analyzed finite element by means of given F [N] load to observe strain. This model is also mathematically analyzed. Due to the complicated construction for mathematical analysis, the model is simplified (assumption) by cutting the model into 2 identical parts (Half Model Analysis). By doing the elastic element and cantilever formula, the resulting strain, output voltage and sensitivity. Load cell sensitivity is 0.271 mV / N (mathematical), 0.231 mV / N (Full Model) and 0.248 mV / N (Half Model). It can be seen that the sensitivity value of each analysis is not much different.

Keywords: Aluminium, elastic element, *load cell*, strain, sensitivity.

PENDAHULUAN

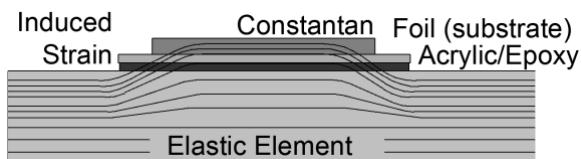
Strain Gauge

Strain gauge adalah pita tipis konduktor yang akan naik tahanan listriknya bila meregang (*positive strain/ tension stress*) dan turun bila mengerut (*negative strain/ compressive stress*). Pita berbahan *Constantan* (55% Cu, 45% Ni) yang dibuat dengan mengeksa (*etching*) lapisan konstantan pada lembaran tipis isolator/plastik dengan konfigurasi jajaran pita yang tersambungkan serial yang mana merupakan bentuk umum *strain gauge* yang ditempelkan pada permukaan yang akan diukur perubahan regangannya. (Rochim 2007)



Gambar 1. *Strain Gauge Foil*
Sumber (Rochim, 2007)

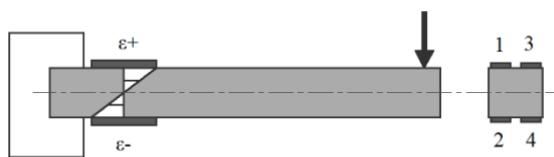
Permukaan tersebut perlu dipersiapkan supaya *strain gauge* bisa ditempelkan dengan kuat dengan menggunakan perekat. Biasanya digunakan perekat dipadukan (*multi part adhesive*) setipis mungkin supaya regangan di permukaan benda dapat diteruskan ke pita *strain gauge* pada orientasi yang benar (arah regangan sejajar dengan arah sensitifnya).



Gambar 2. Perambatan Regangan
Sumber (Rochim, 2007)

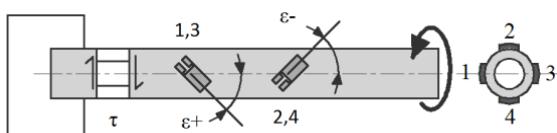
Benda dengan perubahan regangan permukaan (benda elastik) perlu dirancang sesuai dengan kegunaan (sebagai sensor gaya, sensor momen atau sensor tekanan), misalnya:

1. Batang *Cantilever* untuk sensor gaya vertikal diujung batang. Karena beban teuk (*bending*), permukaan atas batang akan menderita tegangan tarik dan permukaan bawah terjadi tegangan tekan. Digunakan 4 *strain gauge*, 2 ditempelkan dipermukaan atas dan 2 dipermukaan bawah.



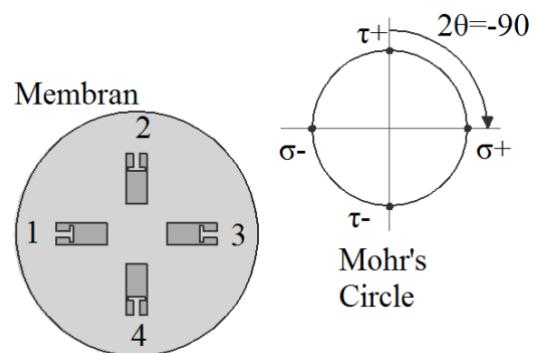
Gambar 3. Model cantilever
Sumber (Rochim, 2007)

2. Pipa berdinding tipis sebagai sensor momen puntir; digunakan 2 *strain gauge* dengan orientasi 45° dan 2 *strain gauge* dengan orientasi -45° terhadap sumbu pipa. Berdasarkan teori lingkaran Mohr tegangan geser dipermukaan yang searah momen puntir pada sumbu pipa akan memberikan tegangan tarik pada arah 45° dan tekan pada arah -45° terhadap sumbu pipa.



Gambar 4. Model beban puntir
Sumber (Rochim, 2007)

3. Membran penutup ujung pipa dapat dijadikan sensor tekanan ruang dengan 4 *strain gauge* yang ditempelkan ditengah membran dengan orientasi sejajar 4 sumbu perpotongan 2 garis.



Gambar 5. Orientasi/ Arah regangan tarik dan geser pada elemen permukaan
Sumber (Rochim, 2007)

Dalam pemakaian praktis, perubahan resistansi *strain gauge* jarang diukur, namun lebih kepada pengukuran efek perubahannya pada besaran fisik yang ingin diukur. Pada contoh pengukuran gaya seperti di atas dapat diukur dengan memakai jembatan *Wheatstone*.

Elemen Elastik

Strain gauge ditempelkan pada elemen elastik khusus (*load cell*) untuk mendeteksi beban. Contohnya adalah timbangan. Ada dua desain sederhana dalam elemen elastik ini, yaitu:

1. Tipe *Beam*

Elemen elastik berbentuk *beam* dengan lubang di tengah. Di dalam lubang direkatkan *strain gauge* dibagian yang akan mengalami regangan paling tinggi ketika elemen elastik diberi beban/ gaya F. Salah satu sisi elemen elastik dijepitkan dan sisi lainnya diberikan beban. Saat diberi beban, elemen elastik terdeformasi. Deformasi berupa regangan ditangkap oleh *strain gauge* dan diolah oleh rangkaian Jembatan *Wheatstone* untuk mendapatkan tegangan output e_0 [V] yang proporsional dengan beban/ gaya F. (Thakkar 2013)

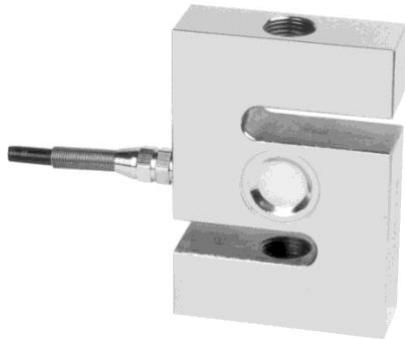


Gambar 6. Elemen Elastik Tipe *Beam*
Sumber (www.diytrade.com)

2. Tipe S

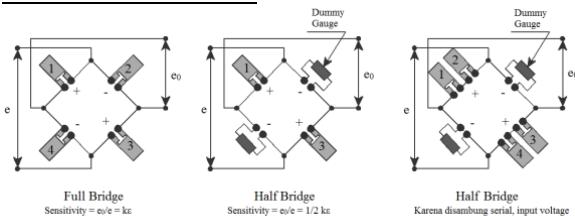
Elemen elastik berbentuk huruf S dengan lubang di tengah. Di dalam lubang direkatkan *strain gauge* dibagian yang diperkirakan akan

mengalami regangan paling tinggi ketika elemen elastik diberi beban/ gaya F. Salah satu sisi elemen elastik dijepitkan dan sisi lainnya diberikan beban. Deformasi berupa regangan ditangkap oleh *strain gauge* dan diolah oleh rangkaian Jembatan Wheatstone untuk mendapatkan tegangan output e_0 [V] yang proporsional dengan beban/ gaya F. Kelebihan elemen statik ini adalah bisa digunakan secara tekan atau tarik/ gantung.



Gambar 7. Elemen elastik Tipe S
Sumber (www.indiamart.com)

Jembatan Wheatstone



Gambar 8. Jembatan Wheatstone
Sumber (Rochim, 2007)

Jembatan Wheatstone (Charles Wheatstone 1843) merupakan rangkaian tertutup 4 buah resistor yang sama harga resistansinya. Dua ujung bersebrangan diberi tegangan input DC (e) dan kedua ujung bersebrangan lainnya merupakan terminal output (e_0). Bila empat resistor tersebut sama harga resistansi (R) dan perubahannya (ΔR) (misalkan ada pengaruh dari perubahan temperatur) maka outputnya akan berharga nol ($e_0 = 0$ mV).

$$e_0 = e \left(\frac{\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4}{4} \right), (1)$$

Rasio perubahan resistansi pada strain gauge akibat dari pengaruh regangan dinamakan sebagai *gauge factor*.

$$k = \frac{\Delta R}{\varepsilon}, (2)$$

(Constantan, k = 2; Semiconductor, k = 108)

Empat *strain gauge* bisa disusun sehingga membentuk rangkaian *Full Bridge*, dengan tegangan input 4 V. Bila *strain gauge* 1 dan 3 mendapat tarikan ($\varepsilon+$), dan *strain gauge* 2 dan 4 mendapat tekanan ($\varepsilon-$; dengan besar perubahan yang sama), maka

$$\frac{e_0}{e} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) = k \varepsilon, (3)$$

Sensitivitas load cell adalah sebagai berikut:

$$e_0 \div e F, (4)$$

Sensitivitas kepekaan: e_0/F [mV/N]

Dimana,

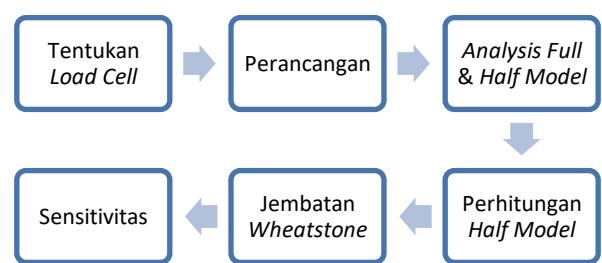
e_0 = output voltage [mV]

e = input voltage [V], semakin besar akan mempengaruhi suhu dan resistansi *Strain Gauge*.

F = gaya pada ujung cantilever [N].

Bila pada benda/ elemen elastik hanya bisa ditempelkan pada permukaan dengan beban satu macam saja (tarik atau tekan, misalnya pada membran pendeksi tekanan) perlu digunakan *dummy-gage* yang berupa resistor (atau *strain gauge* yang sama namun ditempelkan pada elemen kaku/ *rigid*, sehingga tidak menderita regangan) maka terbentuk rangkaian yang dinamakan *half bridge*.

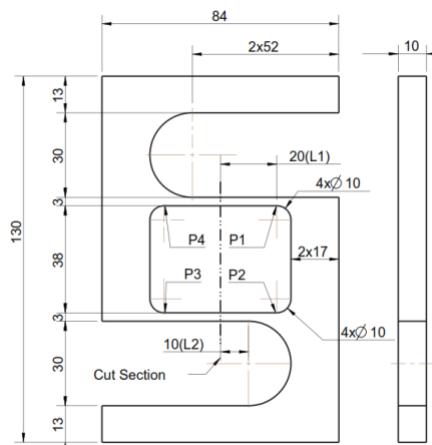
METODE



Gambar 9. Metode penentuan sensitivitas

PERANCANGAN

Penulis merancang elemen elastik dengan tipe S. Alasannya bentuk Tipe S dapat digunakan baik sebagai timbangan tekan atau timbangan gantung, menjadikannya lebih fleksibel dan praktis. Berikut gambar 2D rancangan elemen elastik tipe S:



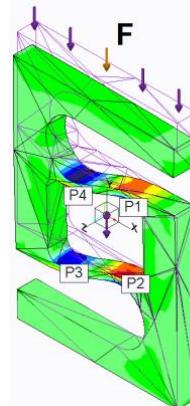
Gambar 10. Geometri dan dimensi elemen elastik

Material *load cell* adalah aluminium seri 6061/dural. Software yang digunakan adalah *Pro Engineer*. Gambar diatas adalah desain elemen elastik *Full Model*, jika desain dipotong pada bagian ‘*Cut Section*’ (gambar 10) maka menjadi desain *Half Model* yang digunakan untuk memudahkan perhitungan matematik.

ANALISIS

Analisis *finite element* dilakukan untuk desain *Full* dan *Half Model*. Lalu di analisis juga secara matematik regangan pada model *Half Model* menggunakan rumus *elastic Element* dan *Cantilever*. Ketiga analisis diatas dirangkum dan dibandingkan regangannya (ϵ). Selanjutnya analisis Jembatan *Wheatstone* untuk mendapatkan tegangan output, dan yang terakhir perhitungan sensitivitas alat ukur.

Analisis Full Model



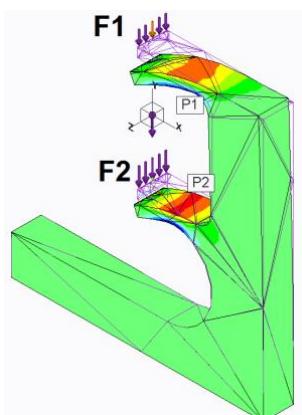
Gambar 11. Analisis tegangan dengan metode numerik untuk menentukan lokasi regangan maksimal

Sebuah elemen elastik berbentuk *load cell* tipe S diberi beban 20 kgf dari atas. Menghasilkan regangan (*strain*) di titik P1, P2, P3 dan P4 (titik-titik yang menderita regangan maksimal selama menerima beban) adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai regangan maksimal pada analisis *finite element* untuk *full model*

Titik	ϵ
P1	-1,00E-03
P2	1,29E-03
P3	-1,00E-03
P4	1,22E-03
Total	4,52E-03

Analisis Half Model



Gambar 12. Analisis tegangan untuk model setengah dengan metode numerik

Agar perhitungan matematik elemen elastik lebih mudah, maka diasumsikan elemen elastik dibelah dua (identik) dan diberi gaya (F_1 dan F_2) dengan jumlah yang sama dengan gaya yang diberikan kepada elemen elastik *full model*. Perbandingan gaya $F_1:F_2$ adalah 40:60 (pada perbandingan itu, regangan maksimal pada *Half Model* mendekati *Full Model*). Hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Perbedaan nilai regangan antara *full model* dengan *half model*

Titik	Full Model	Half Model	Δ
	$F=20 \text{ kgf}$	$F_1=8 \text{ kgf}; F_2=12 \text{ kgf}$	
	ϵ	ϵ	
P1	-1,00E-03	-1,05E-03	5,00E-05
P2	1,29E-03	1,38E-03	9,00E-05
P3	-1,00E-03	-	-
P4	1,22E-03	-	-
Total	4,52E-03	4,86E-03	3,40E-04
Ket.	$\epsilon_{\text{tot}} = -\epsilon_{P1} + \epsilon_{P2} - \epsilon_{P3} + \epsilon_{P4}$	$\epsilon_{\text{tot}} = 2.(-\epsilon_{P1} + \epsilon_{P2})$	

Perhitungan *Half Model*

Selanjutnya dihitung secara matematik regangan dititik P1 dan P2 dengan jarak L1 dan L2 (lihat Gambar 10). Untuk material alumunium 6061, memiliki nilai Modulus Young sebesar 68.9 Gpa.

Elastic Element:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{M}{Z}, \quad (6)$$

Cantilever :

$$M = F \cdot \ell, \quad (7)$$

$$Z = \frac{I_x}{c}, \quad (8)$$

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (9)$$

$$c = \frac{h}{2}, \quad (10)$$

Sehingga,

$$\epsilon = \frac{6 \cdot F \cdot \ell}{E \cdot b \cdot h^2}, \quad (11)$$

Dari rumus diatas diperoleh reganganya (*strain*). Berikut hasilnya:

Tabel 3. Hasil perhitungan matematik regangan

Titik	F [kgf]	I [mm]	ϵ
P1	8	20	-1,52E-03
P2	12	10	1,14E-03

Dibawah ini ialah perbandingan regangan dari analisis *finite element Full & Half Model* serta Perhitungan *Half Model*.

Tabel 4. Perbedaan nilai regangan *finite element full model*, *half model* dan perhitungan matematik

Ttk	Hitung	Full Model		Half Model	
		ϵ	Δ	ϵ	Δ
P1	-1,52E-03	-1,00E-03	5,2E-04	-1,05E-03	4,70E-04
P2	1,14E-03	1,29E-03	1,5E-04	1,38E-03	2,40E-04

Perhitungan Jembatan Wheatstone

Selanjutnya dihitung secara matematik keluaran tegangan output $e_0[\text{mV}]$ dari Rangkaian Jembatan Wheatstone *Full Bridge*. Berikut adalah rumusnya:

$$e_0 = e \cdot k \cdot \epsilon_{\text{tot}}, \quad (12)$$

Tegangan input (e) adalah 5V. Lalu *Strain gauge* berbahan *Constantan* ($k=2$). Berikut hasil perhitungan tegangan keluaran (e_0) dari Rangkaian Jembatan Wheatstone:

Tabel 5. Perhitungan Tegangan Output Rangkaian Jembatan Wheatstone

Ttk	Hitungan	Full Model	Half Model
	ϵ	ϵ	ϵ
P1	-1,52E-03	-1,00E-03	-1,05E-03
P2	1,14E-03	1,29E-03	1,38E-03
P3	-	-1,00E-03	-
P4	-	1,22E-03	-
Tot.	5,31E-03	4,52E-03	4,86E-03
e_0	53,101 mV	45,2 mV	48,62 mV
Ket.	$\epsilon_{\text{tot}} = 2.(-\epsilon_{P1} + \epsilon_{P2})$	$\epsilon_{\text{tot}} = -\epsilon_{P1} + \epsilon_{P2} - \epsilon_{P3} + \epsilon_{P4}$	$\epsilon_{\text{tot}} = 2.(-\epsilon_{P1} + \epsilon_{P2})$

Perhitungan Sensitivitas

Selanjutnya menghitung Sensitivitas alat ukur, dimana:

$$\text{Sensitivitas} = \frac{e_0}{F} [\text{mV/N}], (13)$$

Berikut hasil perhitungan Sensitivitas alat ukur:

Tabel 6. Perhitungan sensitivitas

	e₀ [mV]	F_{tot} [N]	Sens. [mV/N]
Hitungan	53,101	196	0,271
Full Model	45,200	196	0,231
Half Model	48,620	196	0,248

KESIMPULAN

Kesimpulan dari perancangan ini sebagai berikut:

1. Metoda perancangan dilakukan dengan analisis *finite elemen* dari desain *load cell (full model)*. *Load cell* diberi beban F dan dianalisis regangannya (ϵ). Sebagai perbandingan, dilakukan perhitungan statik gaya/momen yang bekerja pada *load cell* dengan pendekatan *load cell* yang dibagi dua secara identik (*half model*). Maksud dan tujuannya untuk menyederhanakan perhitungan matematika. kemudian dilakukan juga analisis *finite elemen Load cell* yang telah dibagi 2 tersebut (*half model*).
2. Telah didapat hasil perhitungan dan analisis *finite elemen* untuk mendapatkan sensitivitas timbangan menggunakan *Load Cell* Tipe S, yaitu Sens. Perhitungan = 0.271 mV/N, Sens. *Full Model* = 0.231 mV/N dan Sens. *Half Model* = 0.248 mV/N.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Besar Logam dan Mesin atas dukungan terhadap kegiatan perancangan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghili, Farhad. 2010. "Design of a Load Cell with Large Overload Capacity." *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering* 34 (3–4): 449–61.

Baoxiang, He, Lu Guirong, Chu Kaibin, and Ma Guoqiang. 2009. "Developing of High Accuracy and Low Capacity Strain Gage Based Load Cell for Electronic Scale." *ICEMI 2009 - Proceedings of 9th International Conference on Electronic Measurement and Instruments*, 2552–56. <https://doi.org/10.1109/ICEMI.2009.5274494>.

Rochim, Taufiq. n.d. *Perancangan Penelitian Dan Analisis Data Statistika*. Bandung: ITB.

———. 2007. *Buku 1: Klasifikasi Proses, Gaya & Daya Pemesinan*. Bandung: ITB.

Russel, Aravind, Jugal Karda, Piyush Jain, Shalmali Kale, and Pallavi Khaire. 2016. "Simulation and Experimental Study for Selection of Gauge Area Cross- Section of 'S' Type Load Cell," 1301–4.

Setyanto, Taufiq Arif, and Kusnendar Priohutomo. n.d. "Desain Dan Evaluasi Load Cell Bentuk Cincin (Pra Desain)." *Jurnal Wave*, no. Xxx: 1–4.

Soni, Ankit, and Pankaj Priyadarshi. n.d. "Finite Element Analysis and Optimization of a Beam Type Load Cell for an External Balance Design," 1–13.

Sugriwan, Iwan, Melania Suweni Muntini, and Yono Hadi Pramono. 2009. "Sensor Massa Untuk Mengukur Derajat Layu Pada Pengolahan Teh Hitam."

Takezawa, Akihiro, Shinji Nishiwaki, Mitsuru Kitamura, and Emílio C.N. Silva. 2010. "Topology Optimization for Designing Strain-Gauge Load Cells." *Structural and Multidisciplinary Optimization* 42 (3): 387–402. <https://doi.org/10.1007/s00158-010-0491-0>.

Thakkar, Prof Kamlesh H. 2013. "Performance Evaluation of Strain Gauge Based Load Cell to Improve Weighing Accuracy." *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET) Performance* 2 (1): 103–7.

Wang, Jianmei, Ke Ning, Liang Tang, Reza Malekian, Yinan Liang, and Zhixiong Li. 2017. "Modeling and Finite Element Analysis of Load-Carrying Performance of a Wind Turbine Considering the Influence of Assembly Factors." *Applied Sciences* 7 (3): 298. <https://doi.org/10.3390/app7030298>.