

## PENGGUNAAN STRAIN GAGE (LOAD CELL) UNTUK ANALISA TEGANGAN PADA PEMBEBANAN STATIK BATANG ALUMINIUM

**Ramang Magga**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

Jl. Sukarno-Hatta Km.9 Tondo, Palu 94119

Email: [ramang\\_magga@yahoo.com](mailto:ramang_magga@yahoo.com)

### Abstract

This study aims to determine the effect of strain (vertical and horizontal directions) in analyzing the static loading stress on the aluminum rod. Research use aluminum rod with dimensions of 110 cm long and 30 cm, height 32.8 mm and 1.2 mm thick, two strain gage to the vertical direction and two for the horizontal direction. Giving the load from 500 grams to 10,000 grams is done. Results show that areas closed to vertical support ( $T_2 = 26647375.311$ ) has very high voltage compared to area in the middle ( $T_1 = 2628679.465$ ). Whereas, for the horizontal direction shows that the area near the support ( $T_2 = 2629098.313$ ) is much greater than in the middle pedestal ( $T_1 = 2659709.133$ ).

Keywords: Strain gage, static loading, aluminum.

### PENDAHULUAN

Strain gage adalah bagian yang sangat penting dari sebuah load cell, dengan fungsi untuk mendeteksi besarnya perubahan dimensi jarak yang disebabkan oleh suatu elemen gaya. Strain gages secara umum digunakan dalam pengukuran presisi gaya, berat, tekanan, torsi, perpindahan dan kuantitas mekanis lainnya dan dikonversi menjadi ketegangan dalam anggota mekanis. Strain gage menghasilkan perubahan nilai tahanan yang proporsional dengan perubahan panjang atau jarak (length).

Penelitian tegangan dengan metode Strain gage dilakukan Asep Saefurrohman, 2007 pada plat dimana sensitivitas tegangan tergantung letak beban, Erinofiardi, 2007. Menguji koefisien gesek material rem dengan strain gage serta Abdullah M, 2010, menguji tegangan pada batang selindris menggunakan strain gage Rossette Delta.

Ada dua tipe dasar strain gage yaitu (Wazis W. 2007):

1. Terikat (bonded)  
Bonded strain gage seluruhnya terpasang pada elemen gaya (force member) dengan menggunakan semacam bahan perekat. Selagi elemen gaya tersebut meregang, strain gage tersebut juga memanjang
2. Tidak terikat (unbonded).  
Unbonded strain gage memiliki salah satu ujung yang dipasang pada elemen gaya dan ujung satunya dipasang pada pengumpul gaya (force collector).

Persyaratan yang sering digunakan untuk menguji kelayakan system strain gage untuk aplikasi tertentu dimana konstanta kalibrasi strain gage harus stabil, artinya tidak berubah terhadap waktu, temperature, dan faktor lingkungan lain, ketelitian pengukuran regangan  $\pm 1\mu s$  pada daerah regangan  $\pm 10\%$ , ukuran strain gage, yaitu panjang  $l_0$  dan tebal  $w_0$  harus kecil

agar kesalahan pengukuran regangan pada suatu titik juga kecil, respon system strain gage harus cukup cepat untuk bisa mengindera regangan dinamik dengan frekwensi lebih besar dari 100 kHz, Strain gage dan perlengkapannya harus murah untuk memungkinkan pendayagunaan yang seluas-luasnya, Sistem strain gage harus mudah dipasang dan dioperasikan, Respon strain gage harus linier untuk daerah harga regangan yang cukup besar.

Namun demikian banyak kesulitan untuk mendapatkan system strain gage yang memenuhi seluruh persyaratan di atas. Ada 4 ciri dasar system strain gage yang telah berhasil dikembangkan dan dipasarkan (Wazis W.2007) Yaitu :

#### **a. Panjang gage (gage length)**

Seperti telah dijelaskan bahwa kesalahan tergantung pada panjang  $t_0$  dan tebal  $w_0$  (regangan pada suatu titik tidak dapat diukur dengan strain gage apapun), sehingga pengukuran regangan tidak dapat lepas dari kesalahan. Pada strain gage mekanis panjang gage sama dengan jarak antara dua mata pisau yang menekan benda kerja dan tebal gage sama dengan besar mata pisau yang dapat bergerak, sedangkan pada strain gage jenis tahanan listrik panjang dan tebal ditentukan oleh daerah aktif pada kisi-kisinya.

#### **b. Kepekaan (sensitivity)**

Adalah harga regangan terkecil yang masih dapat diukur oleh strain gage. Kepekaan (sensitivity) berbeda dengan ketepatan (accuracy), karena kepekaan masih dapat ditingkatkan dengan cara menaikkan factor perbesaran, tetapi implikasinya adalah gesekan, keausan, pergeseran, dll, akan menghasilkan kesalahan pembacaan yang lebih besar sehingga

mengurangi ketepatan. Untuk aplikasi tertentu, kepekaan lebih kecil dari 1  $\mu$  sudah memenuhi syarat.

#### **c. Daerah Kerja**

Daerah kerja mencerminkan regangan maksimum yang dapat diukur tanpa perlu mengonolkan ulang ataupun mengganti strain gage. Daerah kerja dan kepekaan saling berkaitan, karena strain gage yang sangat peka dapat mengukur perubahan regangan yang kecil, sedangkan daerah kerja umumnya dibatasi oleh perubahan dimensi atau lendutan maksimum strain gage atau kemampuan peralatan pencacah.

#### **d. Ketepatan**

Kepekaan tidak menjamin ketepatan. Umumnya alat ukur berkepekaan tinggi justru rawan terhadap kesalahan, kecuali bila pengoperasiannya dilakukan sangat hati-hati. Pada strain gage mekanik ketidaktepatan dapat berasal dari keausan, slip, atau komponen yang melentur. Disamping itu, semua strain gage pasti mempunyai kesalahan pembacaan data, baik yang keluarannya dicatat secara manual maupun dengan digital.

#### **Jenis-Jenis Strain Gage**

Inti dari pengukuran regangan adalah bagaimana menentukan perpindahan dua titik yang pada saat awal terpisah sejauh  $l_0$ . Berdasarkan prinsip kerjanya strain gage dapat dikelompokkan menjadi (Wazis W. 2007):

##### **a. Jenis Mekanik (mechanical strain gage)**

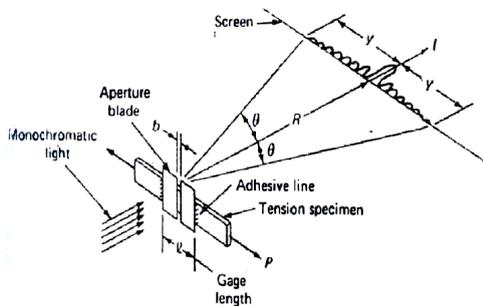
Mechanical strain gages seperti Tensometer Huggenberger atau mikrokator Johanson sudah jarang digunakan karena sudah banyak beredar strain gage jenis tahanan

listrik yang lebih akurat, Iebih murah, dan Iebih praktis. Sedangkan strain gage mekanik yang sering digunakan adalah extensometer terutama banyak dipakai pada uji tarik bahan.

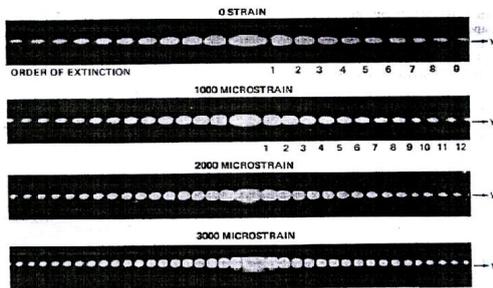
**b. Jenis Optik (optical strain gage)**

Ada 2 jenis

**a. Jenis Diffraction Strain Gage**



Gambar 1. Arrangement of the diffraction-type strain gage.



Gambar 2. Diffractograms showing changes in the diffraction pattern with increasing strain

Pada gambar 1., jika  $R \gg b$ , maka intensitas cahaya  $I$  dalam pola difraksi (diffraction pattern) adalah :

$$I = A_0^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2}$$

$A_0$  = amplitudo cahaya pada  $\theta = 0$ , dan

$$\beta = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta$$

$\lambda$  = panjang gelombang cahaya

Jika analisa dibatasi oleh jarak  $y$  yang pendek, sehingga  $\sin \theta$  sebanding dengan  $y/R$ , maka persamaan menjadi,

$$\beta = \frac{\pi b}{\lambda} \frac{y}{R}$$

Pada persamaan diatas, Intensitasnya menjadi NOL jika  $\sin(\theta) = 0$  atau jika  $R = n \lambda$ , dimana  $n = 1, 2, 3, \dots$  Pada saat  $I = 0$ , berlaku

$$b = \frac{\lambda R n}{y}$$

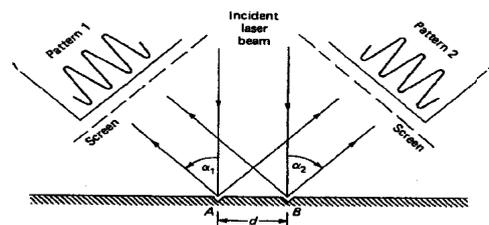
dimana  $n$  = order of the extinction (pemadaman) dari pola difraksi. Jika specimen di regangkan, maka deformasi tersebut menghasilkan perubahan lebar celah 'b' sebesar  $\Delta b$  dan merubah pola difraksi (lihat Gambar 2. di atas). Pola difraksi sebelum deformasi

$$b = \frac{\lambda R n^*}{y_0}$$

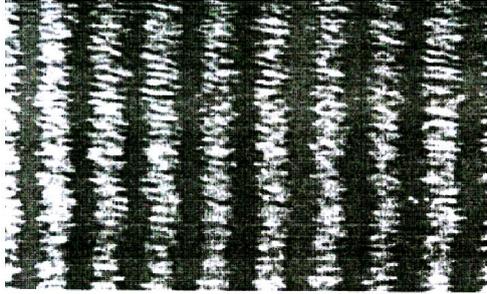
Sehingga regangan rata-rata  $\epsilon$  :

$$\epsilon = \frac{\Delta b}{l} = \frac{\lambda R n^*}{l} \left( \frac{y_0 - y_1}{y_0 y_1} \right)$$

**b. Jenis Interferometric Strain Gage**



Gambar 3. Schematic diagram showing the light rays which form the two interference patterns



Gambar 4. Interference fringe pattern produced by reflected light from two V-shaped grooves.'

Menggunakan cahaya monochromatic, koheren dari suatu sumber (misal helium-neon laser) cahaya tersebut dipantulkan dari dua buah V-grooves yang dibuat pada permukaan specimen yang diuji yang dipolish halus (highly polished), Kedalaman V-grooves : 0,000040 inci (0,001mm) Jarak antara V-grooves : 0,005 inci (0,125 mm)

Intensitas cahaya pada pattern

$$I = 4A_0^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \cos^2 \phi$$

Dimana :

$$\beta = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta \quad \text{dan} \quad \phi = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta$$

b = width of grooves

d = width between grooves

$\theta$  = angle from central maximum

Ketika specimen di rengangkan, jarak 'd' dan lebar 'b' akan berubah. Hal ini akan menngqeser 'fringes' pada kedua interference patterns sehingga bisa untuk menghitung rengangan rata-rata.

$$\varepsilon = \frac{(\Delta N_1 - \Delta N_2) \lambda}{2d \sin \alpha}$$

$\Delta N_1$ , dan  $\Delta N_2$  adalah perubahan 'fringe order' pada dua pattern yang diakibatkan oleh rengangan benda,  $\alpha =$

angle between the incident light beam and the diffracted rays which produce the interference patterns.

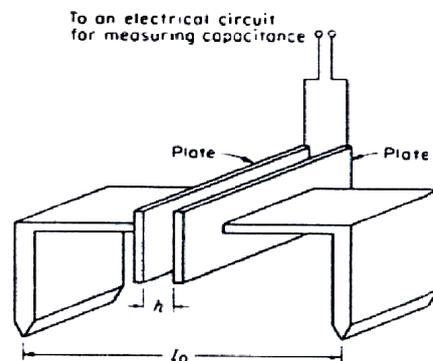
### c. Jenis Elektrik (electrical strain gage)

Ada 3 jenis

a. Capacitance Strain Gage (jenis kapasitor) Pemakaian terbatas / khusus

Ada 3 cara untuk menggunakan kapasitor plat datar sebagai strain gage

1. Mengubah celah 'h' antara kedua plat
2. Menggerakkan plat yang satu relatif terhadap yang lain sedemikian hingga luas penampang A berubah
3. Menggerakkan suatu benda yang mempunyai konstanta dielektrik lebih besar dad pada udara diantara kedua plat.



Gambar 5. Schematic illustration of a parallel-plate capacitor strain gage with a variable air gap

Pada gambar diatas, perubahan lebar celah  $\Delta h$  menyebabkan perubahan kapasitas  $\Delta C$ :

$$C = \Delta C = \frac{kA}{h + \Delta h}$$

$$\frac{\Delta C}{C} = -\frac{\frac{\Delta h}{h}}{1 + \frac{\Delta h}{h}}$$

Nampak bahwa hubungan antara  $\Delta h/h$  dan  $\Delta C/C$  tidak tinier. Karena biasanya di dalam praktek harga  $\Delta h/h$  cukup besar, sehingga tidak dapat diabaikan. Untuk menghindari persamaan non Tinier di atas, tinjau persamaan reaktansi kapasitif (capacitive reactance)  $R_c$

$$R_c = \frac{1}{\omega C}$$

$\omega$  = circular frequency of the ac voltage applied cross the capacitor.

$$R_c = \frac{h}{k_1}$$

dimana  $k_1 = 0,225 k A 0$ ) adalah konstan

$$\frac{\Delta R_c}{R_c} = \frac{\Delta h}{h}$$

Yang berarti : Reaktansi kapasitif berubah secara tinier terhadap perubahan lebar celah  $\Delta h$ . Jika gage seperti pada gambar diatas dipasang pada specimen yang dibebani, maka panjang gage akan berubah sebesar  $\Delta l$  yang berarti juga lebar celah berubah sebesar  $\Delta h = \Delta l$  Jadi hubungan regangan dan reaktansi kapasitif :

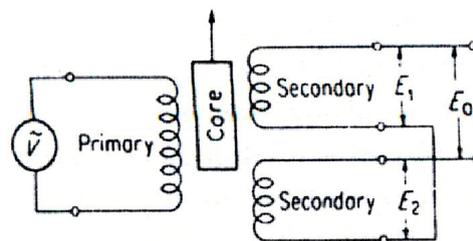
$$\frac{\Delta R_c}{R_c} = \frac{\epsilon l_0}{h}$$

Untuk kapasitor dengan panjang.  $l_0 = 25$  mm,  $h = 0,25$  mm  $\epsilon = \mu\epsilon$ , harga  $\Delta C/C = 10^{-4}$ . Untuk mengukur perubahan kecil kapasitas secara akurat dapat digunakan rangkaian listrik, baik untuk pengukuran regangan statik maupun regangan dinamik frekuensi rendah..

Dengan demikian, kepekaan dan ketepatan strain gage jenis kapasitor cukup memadai untuk pengukuran regangan pada umumnya. Kelemahan utama strain gage jenis ini adalah ukuran yang relatif besar dan pemasangannya harus dengan knife edges (mata pisau). Sedangkan keunggulannya keandalannya baik pada suhu rendah maupun tinggi, Konstanta dielektrik udara hampir konstan hingga suhu 815 °C. hal ini berarti bahwa konstanta kalibrasi strain gage akan stabil untuk daerah kerja temperatur yang cukup lebar.

b. Inductance Strain Gage (jenis induktor)

Metode pengukuran dengan prinsip induksi listrik, yang paling sesuai untuk pengukuran regangan adalah sistem Transformator Diferensial. Transformator diferensial linier (tinier differential Transformer) suatu alat yang sangat baik untuk mengubah perpindahan menjadi sinyal listrik, (pada pengukuran : regangan, perpindahan/displacement, tekanan percepatan, gaya, temperatur).

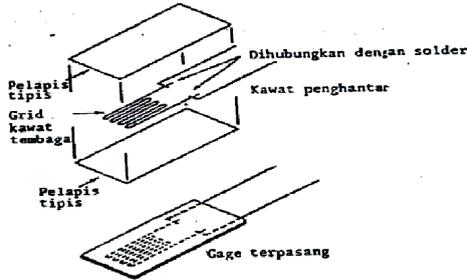


Gambar 6. Schematic diagram of the linear-differential-transformer circuit'

c. Resistance Strain Gage (jenis tahanan) paling penting/banyak digunakan

Prinsip sederhana : bila suatu kawat ditarik, kawat akan memanjang dan penampang mengecil sehingga tahanan listriknya bertambah. Sehingga bila kawat diletakkan pada suatu benda

yang dibebani maka kawat akan memanjang atau memendek sesuai dengan regangan yang dialami benda. Perubahan tahanan tersebut dapat dikalibrasi menjadi regangan.



Gambar 7. Contoh konstruksi strain gage dari jenis tahanan listrik

Bila panjang kawat konduktor mula-mula  $L$ , dan luas penampangnya  $CD^2$ ,  $C$  = konstanta proporsionalitas,  $D$  = diameter kawat. Bila kawat tersebut ditarik, maka panjang akan bertambah sedang ukuran lateral akan mengecil sesuai angka Poisson. Tahanan listrik  $R$  dapat dihitung dengan

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L}{CD^2}$$

$\rho$  : tahanan jenis,  $L$  : panjang kawat,  $A$  : luas penampang

Bila kawat ditarik, semua besaran pada persamaan di atas akan berubah:

$$dR = \frac{CD^2(Ld\rho + \rho dL) - 2CD\rho LdD}{(CD^2)^2}$$

$$= \frac{1}{CD^2} \left\{ (Ld\rho + \rho dL) - 2\rho L \frac{dD}{D} \right\}$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} - 2 \frac{dD}{D} + \frac{d\rho}{\rho}$$

$$\frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dL}{L}} = 1 - 2 \frac{\frac{dD}{D}}{\frac{dL}{L}} + \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\frac{dL}{L}}$$

Dalam persamaan diatas

$$\frac{dL}{L} = \varepsilon_a = \text{regangan aksial}$$

$$\frac{dD}{D} = \varepsilon_L = \text{regangan lateral}$$

$$-\frac{\frac{dD}{D}}{\frac{dL}{L}} = \nu = \text{bilangan poisson}$$

Menghasilkan faktor gage (gage factor) (diberi lambang  $F$ )

$$F = \frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dL}{L}} = \frac{\frac{dR}{R}}{\varepsilon_a} = 1 + 2\nu + \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\frac{dL}{L}}$$

(merupakan persamaan dasar untuk strain gage elektrik jenis tahanan)

Bila tahanan jenis ( $\rho$ ) tidak berubah terhadap regangan, dapat dilihat bahwa, faktor gage hanya merupakan fungsi dari bilangan Poisson saja yang berarti untuk daerah elastis harganya sekitar  $= 1 + 2(0.3) = 1,6$

diferensiasi dengan perubahan kecil sebagai berikut

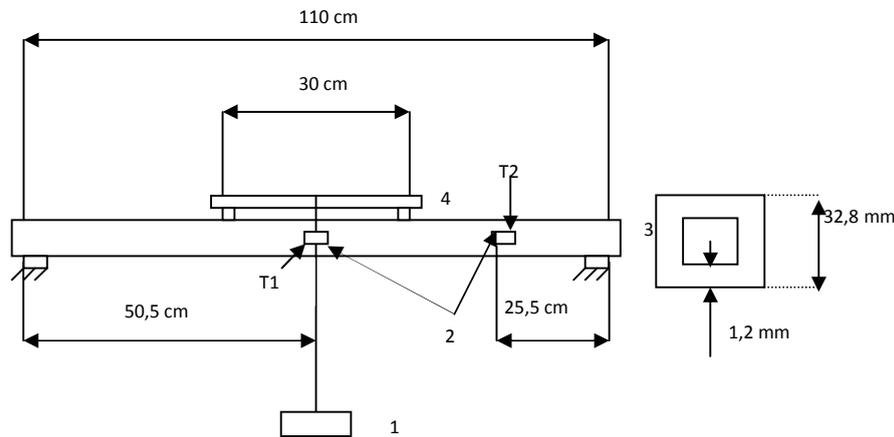
$$\varepsilon = \frac{1}{F} \frac{\Delta R}{R}$$

Dalam praktek, harga  $F$  dan  $R$  umumnya sudah diberikan oleh pabrik pembuat strain gage dan pengguna cukup mengukur  $\Delta R$  (perubahan tahanan) yang terjadi akibat pembebanan.

**METODE PENELITIAN**

Bahan penelitian menggunakan dua batang balok dari aluminium dengan dimensi panjang 110 cm dan 30 cm, tinggi 32,8 mm dan tebal 1,2

mm. menggunakan dua buah strain gage untuk arah vertikal dan dua untuk arah horisontal. pemberian beban dilakukan mulai dari 500 gr sampai 10000 gr. Gambar percobaan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 8. konstruksi percobaan dan strain gage jenis tahanan listrik

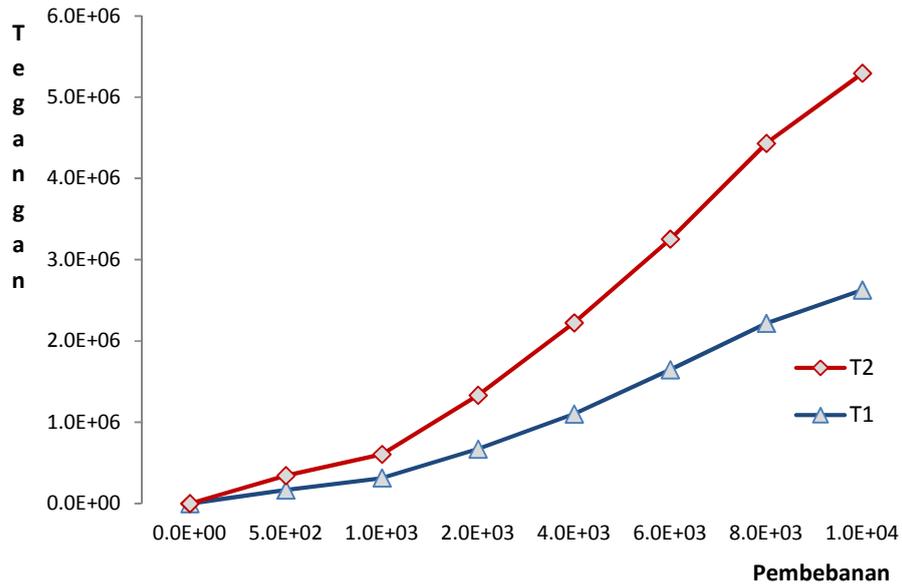
**HASIL DAN DISKUSI**

Dari hasil pengujian dengan menggunakan strain gage tahan listrik diperoleh bahwa tegangan pada batang aluminium, dimana pengaruh pembebanan mempengaruhi besar tegangan pada batang, letak pembebanan juga berpengaruh besar terhadap tegangan yang terjadi sesuai dengan yang dikemukakan oleh Asep Saefurrohman dan Fatris Gustinovel mengukur gaya dengan enam derajat kebebasan dengan sensor pada tiga arah X, Y dan Z, Abdullah M. mengemukakan bahwa perbedaan antara tegangan berkisar antara 1,5 % samapai 8,5 %.

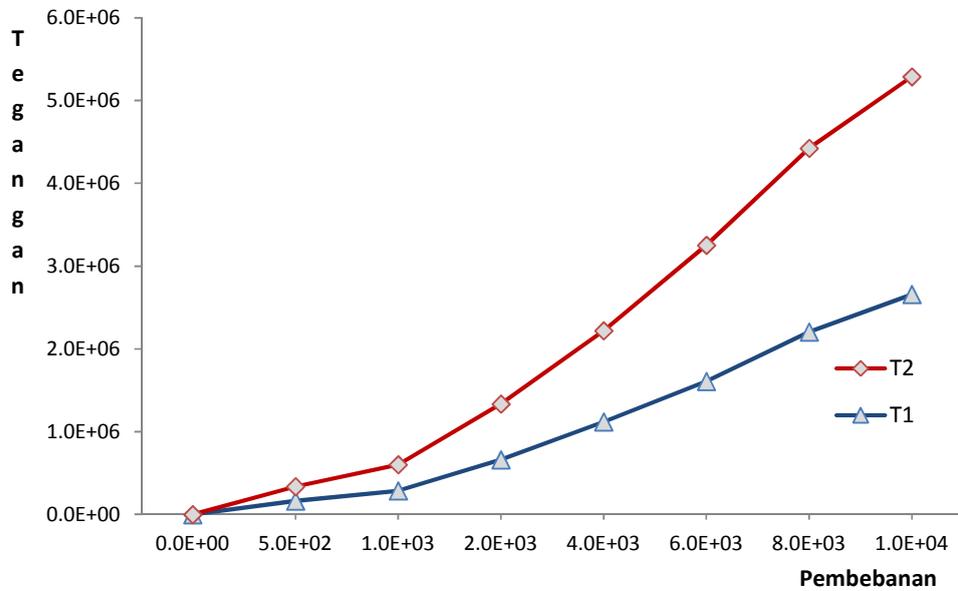
vertikal, memperlihatkan bahwa pada daerah mendekati tumpuan (T2 = 26647375,311) tegangan yang terjadi sangat besar jika dibanding pada tengah (T1 = 2628679,465). Sedangkan untuk arah horisontal memperlihatkan bahwa pada daerah mendekati tumpuan (T2 = 2629098,313) jauh lebih besar dibandingkan pada tengah tumpuan (T1 = 2659709,133) seperti pada gambar 10.

Jika dibandingkan antar strain gage arah vertikal dan horisontal, nilai tegangan terbesar terjadi pada strain gage arah vertikal, nilai masing-masing tegangan baik arah vertikal 26647375,311 dan horisontal 2629098,313.

Hasil penelitian seperti pada gambar 9. Dimana strain gage dipasang pada arah



Gambar 9. Grafik pengaruh pembebanan terhadap tegangan dengan Strain Gage (Load Cell) arah vertikal



Gambar 10. Grafik pengaruh pembebanan terhadap tegangan dengan Strain Gage (Load Cell) arah Horizontal

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pemberian beban, letak pemberian beban mempengaruhi tegangan pada batang aluminium dan reaksi pembacaan strain gage baik arah horisontal maupun vertikal berbeda

## DAFTAR PUSTAKA

Abdullah M., 2010, Analisis Teoritis dan eksperimental tegangan pada batang selindris dengan beban kombinasi, SNTTM-9, Palembang.

Asep Saefurrohman, 2007, Penggunaan Rosette Gage Untuk Analisis Tegangan Tarik Dan Geser

Maksimum Pada Pembebanan Statik Dan Dinamik, Institut Teknologi Bandung.

Erinofiardi, 2007, Perancangan, Pembuatan Dan Pengujian Load Cell Pada Alat Uji Koefisien Gesek Material Rem, Institute Technology Bandung

Fatris Gustinovel, 2004, Modifikasi Rancangan, Pembuatan Dan Pengujian Sensor Gaya Enam Derajat Kebebasan, Departemen Teknik Mesin FTI-ITB

Wazis W. 2007, Bahan kuliah Kuliah Analisis Teknik Experimental, Universitas Gadjah Mada