

ANALISIS PENGUKURAN TEGANGAN PADA STRUKTUR PELAT BERBASIS MICROCONTROLLER ARDUINO

Ramli Ali Safrudin¹, Feblil Huda², Sapdo Utomo³

¹Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

²Dosen Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

³Peneliti P2 Telimek, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bandung 40135, Indonesia

¹ramlialisyafuruddin@gmail.com, ²feblil.huda@eng.unri.ac.id, ³sapdo.utomo@gmail.com

ABSTRACT

Stress can be measured using a strain gauge sensor. Strain gauge will experience change in resistance when the objects are tied with strained. The magnitude of the difference in resistance on the strain gauge is proportional to the strain on the object. In this study, using a device for strain gauge signal reading from materials that are cheap and easily found in the Indonesian market, including Arduino (as data acquisition) and INA 125P (as signal amplifiers). Stress measurements performed on Aluminum plates use the bending load like the cantilever beam with dimensions of 150 mm long, 50 mm wide, 2 mm thick. The measurement results obtained have the biggest difference with the theoretical calculation method which is 5,32%, while when compared with the simulation method the biggest difference is 8,03%.

Keyword : *Strain gauge, INA 125P, cantilever beam, bending load.*

1. Pendahuluan

Tegangan adalah sebuah bentuk reaksi pada bagian dalam penampang benda akibat adanya gaya yang bekerja dari luar. Peranan tegangan sangat besar dan merupakan salah satu hal terpenting dalam bidang ilmu mekanika struktur. Pada dasarnya ilmu mekanika mengadopsi dari Hukum III Newton tentang gaya aksi dan reaksi, sedangkan gaya aksi dan reaksi merupakan faktor utama mengapa tegangan tersebut ada.

Secara aktual pemeriksaan tegangan dilakukan dengan metode pengukuran. Pengukuran tegangan yang paling sering digunakan adalah dengan menggunakan sensor *strain gauge*. *Strain gauge* merupakan sebuah sensor yang memanfaatkan regangan yang terjadi pada daerah *grid foil*-nya. Ketika *strain gauge* diikatkan pada sebuah benda yang mengalami regangan, *grid foil* dari *strain gauge* juga ikut meregang. Akibat dari meregangnya *grid foil* tersebut mengakibatkan tahanan listriknnya berubah, dan perubahan nilai tahanan (hambatan) listrik sebanding dengan nilai regangan yang terjadi pada benda. Kelebihan dari penggunaan metode tersebut dalam melakukan pengukuran tegangan adalah mampu mengukur tegangan dititik-titik tertentu dikarenakan dimensi dari *strain gauge* yang kecil. Seperti penelitian sebelumnya, yaitu melakukan pengukuran tegangan pada pelat dari material isotropik dan ortotropik yang diberikan lubang ditengah-tengah dari lebar dan panjang pelat, kemudian diberikan beban tarik pada ujung-ujung pelat. *Strain gauge* diletakkan didekat lubang untuk melihat konsentrasi tegangan yang ditimbulkan oleh adanya lubang tersebut [1].

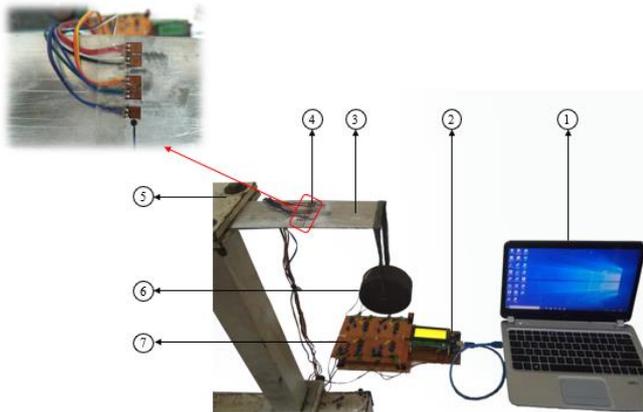
Sensor *strain gauge* membutuhkan perangkat lain untuk membaca dan meneruskan sinyal yang masih berbentuk sinyal analog menjadi bentuk angka-angka (*digital*), agar lebih mudah dipahami penggunaannya. Perangkat yang dimaksud tersebut biasa disebut *strain gauge indicator*. *Strain gauge indicator* yang biasa digunakan harganya cukup mahal dan ketersediannya di pasar Indonesia juga cukup terbatas, sehingga perlu alternatif lain agar pengukuran tegangan dengan sensor *strain gauge* masih dapat dilakukan tanpa *strain gauge indicator* tersebut.

Penelitian ini bertujuan melakukan analisis pengukuran tegangan akibat beban *bending* pada sebuah struktur pelat (spesimen) dari Aluminium dengan dimensi panjang 150 mm, lebar 50 mm dan tebal 2 mm. Dari penelitian ini akan memberikan alternatif lain tentang *strain gauge indicator* yang terdiri dari bahan-bahan murah dan mudah ditemui di pasar Indonesia, seperti Arduino Uno R3 dan INA 125P. Penggunaan Arduino dan INA 125P sudah pernah dilakukan sebelumnya sebagai perangkat pembacaan sebuah *load cell* [2]. *Load cell* dengan *strain gauge* pada dasarnya memiliki kesamaan dalam perangkat pembacaan, perbedaannya hanya pada kondisi kerja dan hasil pengukuran yang diperoleh. *Load cell* diperuntukkan hanya mengukur massa, sedangkan *strain gauge* untuk mengukur regangan. Hasil dari penelitian tersebut cukup memuaskan, dimana keakuratan pengukuran dengan menggunakan peralatan INA 125P dan Arduino rata-rata mencapai 99%.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Set-Up Pengujian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah eksperimen yang berupa pengukuran tegangan pada spesimen pelat Aluminium. Perangkat *Set-up* pengujian terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu: spesimen uji, tumpuan jepit, sensor *strain gauge*, *strain indicator*, Arduino, dan *Personal Computer* (PC). Beberapa komponen utama tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

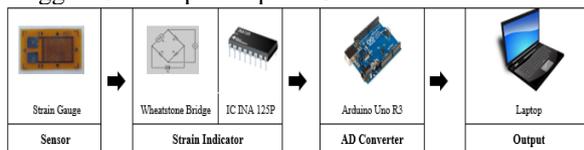


Gambar 1 *Set-up* Pengujian

Keterangan :

1. *Personal Computer* (PC)
2. Arduino Uno R3
3. Struktur Pelat (Spesimen Uji)
4. Sensor *strain gauge*
5. Tumpuan Jepit
6. Massa Uji
7. *Strain indicator*

Alur dari pemrosesan sinyal dari *strain gauge* hingga PC ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Alur Pemrosesan Sinyal dari *Strain Gauge* Hingga ke PC

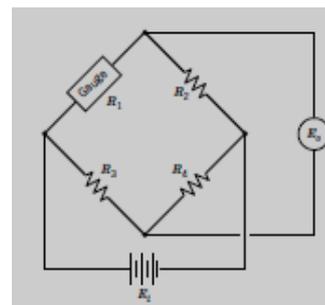
1. *Strain gauge* dan jembatan *wheatstone*

Sinyal bermula ditangkap melalui *strain gauge* yang ikut meregang bersamaan dengan spesimen, hal tersebut dapat terjadi karena *strain gauge* ditempelkan dengan menggunakan *adhesive* (lem) pada permukaan spesimen tersebut. *Strain gauge* ditempelkan pada permukaan spesimen uji menggunakan lem yang berbahan *cyanoacrylate*. *Strain gauge* yang digunakan adalah tipe BF 350-3 AA dengan spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 1 [3].

Tabel 1 Spesifikasi *Strain Gauge* Tipe BF 350-3AA

Spesification	Value
Nominal resistance (Ω)	350
Tolerance of resistance	$<\pm 0,1 \%$
Gauge faktor	2,00 – 2,2
Strain limit	2,0 %
Fatigue life	$>10^7$
Metal foil	Constantan alloy
Working temperatur range	$-30^\circ\text{C} - +80^\circ\text{C}$
Gauge grid (mm) (l x w)	3,2 x 3,1
Gauge backing (matrix) (mm)	7,4 x 4,4

Sinyal dari *strain gauge* berupa beda hambatan, nilai beda hambatan tersebut sangatlah kecil sehingga memerlukan sirkuit jembatan *wheatstone* untuk mengkonversinya menjadi tegangan keluar [2]. Jembatan *wheatstone* merupakan sebuah peralatan yang memiliki sensitifitas yang tinggi sehingga cocok untuk mengukur perubahan hambatan dari *strain gauge* [4]. Tampilan dari sirkuit jembatan *wheatstone* dapat dilihat pada Gambar 3. Perubahan nilai hambatan listrik dari *strain gauge* menjadi beda tegangan dijelaskan melalui persamaan 1.



Gambar 3 Jembatan *Wheatstone* [4]

$$E_0 + \Delta E_0 = E_i \frac{(R_1 + \Delta R)R_4 - R_2 \cdot R_3}{(R_1 + \Delta R + R_2)(R_3 + R_4)}$$

$$\text{Jika, } R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \text{ dan } E_0 = 0$$

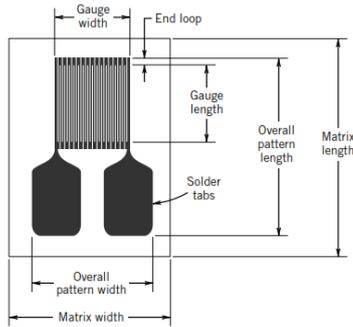
Maka,

$$\frac{\Delta E_0}{E_i} = \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R} = \frac{\Delta R/R}{4 + 2(\Delta R/R)} = \frac{\Delta R/R}{4} \quad \dots(1)$$

Strain gauge dihubungkan dengan dua kabel *jumper* yang di *solder* pada *solder tap strain gauge*. Adapun bentuk dari bagian-bagian *strain gauge* dapat dilihat pada Gambar 4. Besarnya hambatan yang terjadi pada *strain gauge* adalah sebagai berikut.

$$R = \frac{\rho_e L}{A_c} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dimana, A_c adalah luas penampang seragam, panjang *strain gauge* L dan resistivitas elektrik adalah ρ_e .



Gambar 4 Bagian-bagian *Strain gauge*

Strain gauge memiliki sebuah angka konstanta yang dijadikan perbandingan antara beda hambatan yang terjadi pada *grid foil strain gauge* dengan regangan yang terjadi pada benda yang meregang. Persamaan 3 akan menguraikannya yang dinyatakan oleh *gauge factor* [4].

$$GF = \frac{\delta R/R}{\delta L/L} = \frac{\delta R/R}{\epsilon_a} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- δL adalah perubahan panjang (mm)
- L adalah panjang awal (mm)
- δR adalah perubahan hambatan *strain gauge* (Ω)
- R adalah hambatan awal *strain gauge* (Ω)
- GF adalah faktor *gauge* yang dimiliki sensor

Hubungan antara persamaan 2 dengan persamaan 3 akan menghasilkan persamaan regangan. Berikut adalah uraian dari persamaan regangan [4].

$$\frac{\Delta E_0}{E_i} = \frac{GF \cdot \epsilon_a}{4 + 2(GF \cdot \epsilon_a)} = \frac{GF \cdot \epsilon_a}{4}$$

$$\epsilon_a = \frac{4 \cdot \Delta E_0}{GF \cdot E_i} \dots\dots\dots(4)$$

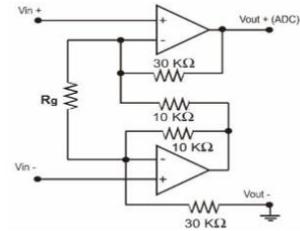
Nilai regangan kemudian dirubah menjadi nilai regangan dengan persamaan hukum Hooke, yaitu nilai regangan (ϵ) dikalikan dengan nilai modulus elastisitas bahan spesimen uji (E), dalam hal ini adalah Alumunium yaitu 69000 MPa [5]

$$\sigma = \epsilon \cdot E \dots\dots\dots(5)$$

2. Amplifier INA 125P

Nilai beda tegangan yang keluar dari jembatan *wheatstone* belum cukup besar untuk bisa dibaca oleh data akuisisi, Arduino. Dibutuhkan penguat sinyal (*amplifier*) yang mampu memperbesar nilai dari beda tegangan tersebut, adapun *amplifier* yang digunakan adalah IC INA 125P. *Amplifier* tersebut mampu menguatkan maksimal hingga 10000 kali, dan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan melalui penambahan *resistor* penguat (R_g). Penelitian ini menggunakan

penguatan sebesar 500 kali. Besarnya penguatan dari IC INA 125P dapat diketahui melalui persamaan 6 berikut, dan sketsa penguatannya ditampilkan melalui Gambar 5.

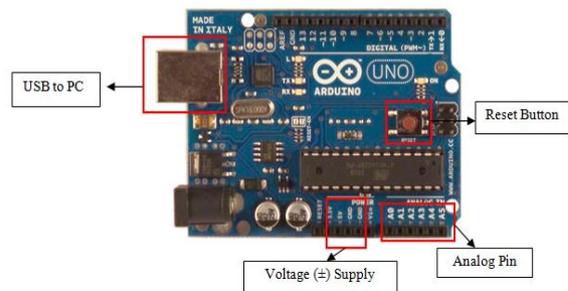


Gambar 5 Sketsa Penguatan IC INA 125P [6]

$$G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_g} \dots\dots\dots(6)$$

3. Arduino Uno R3

Arduino merupakan sebuah *mikrocontroller* yang berfungsi sebagai data akuisisi pada penelitian ini. Arduino memiliki enam *pin analog* yang berfungsi sebagai penerima *input* sinyal *analog* dari rangkaian listrik. Pada penelitian ini, menggunakan empat saluran (*channel*) *strain indicator*. Arduino juga berfungsi sebagai pemasok tegangan voltase ke rangkaian jembatan *wheatstone* pada *strain indicator*. Tegangan voltase yang dimasukkan ke jembatan *wheatstone* bervariasi yaitu 3.5 volt dan 2,2 volt, hal tersebut terjadi akibat adanya hambatan-hambatan dari penggunaan kabel-kabel dan *solder* pada *strain indicator*. Gambar 6 berikut adalah tampilan dari bagian-bagian Arduino Uno R3.



Gambar 6 Bagian-bagian Arduino Uno R3

Arduino dihubungkan ke PC dengan menggunakan kabel USB. Arduino dijalankan melalui *software* yang disediakan Arduino sendiri yaitu *Arduino Integrated Development Enviromental (IDE)*. *Arduino IDE* merupakan *software* yang berisi *editor* program untuk menulis dan mengedit program, serta beberapa fitur lain seperti *compiler*, dan *uploader* [7].

2.2 Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan setelah *strain gauge* dipasangkan ke spesimen uji, dan *strain gauge* dihubungkan ke *strain indicator* yang telah terhubung dengan arduino melalui *pin-pin*

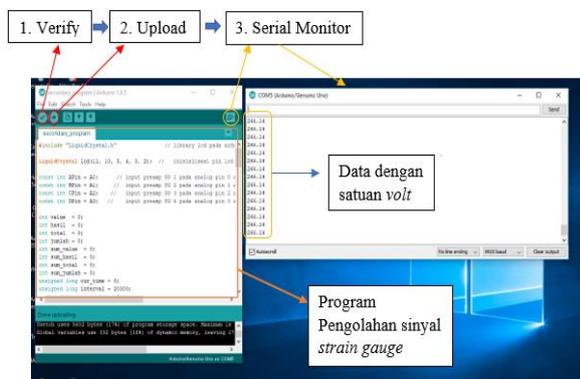
analog. Arduino dihubungkan ke PC melalui kabel USB, kemudian program untuk memproses sinyal dari *strain gauge* dimasukkan ke *software* Arduino IDE untuk dieksekusi.

Langkah awal adalah menekan tombol *Verify* untuk melakukan *crosscheck* terhadap program yang akan dijalankan, selanjutnya memilih tombol *Upload*. Setelah program berhasil ter-*upload*, kemudian pilih tombol *Serial Monitor*. Sebelum menjalankan program, spesimen diberikan pembebanan terlebih dahulu pada ujungnya. Beban diberikan pada ujung batang yang digantung dengan menggunakan *sling* baja untuk selang sepeda. Beban yang berikan sebesar 6,6 N (0,672 Kg) dan 14,65 N (1,494 Kg). Beban atau massa uji terbuat dari baja berbentuk silinder. Gambar 7 berikut adalah posisi pembebanan yang diterapkan pada saat pengukuran.



Gambar 7 Posisi Pembebanan saat Pengukuran

Tampilan *Serial Monitor* akan menampilkan data hasil proses pengolahan sinyal yang sudah memiliki satuan *volt*. *Serial Monitor* akan menampilkan data yang terus berjalan dan akan otomatis berhenti setelah 20 detik beroperasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 8. Selama 20 detik tersebut, akan dihasilkan sebanyak 60 data. Data tersebut adalah ΔE_o (beda voltase) yang dihasilkan dari perubahan hambatan yang terjadi pada *strain gauge* akibat pembebanan. Data beda voltase pada *Serial Monitor* kemudian di pindahkan ke Microsoft Excel untuk diolah menjadi nilai *strain*, ϵ (regangan) dan selanjutnya menjadi nilai *stress*, σ (tegangan) dengan satuan MPa.

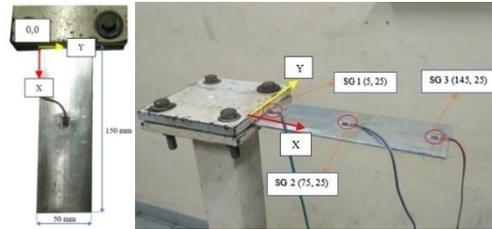


Gambar 8 Tampilan dari IDE Arduino

2.3 Peletakkan *Strain Gauge*

Peletakkan *strain gauge* dilakukan berdasarkan koordinat sumbu *x* dan sumbu *y*.

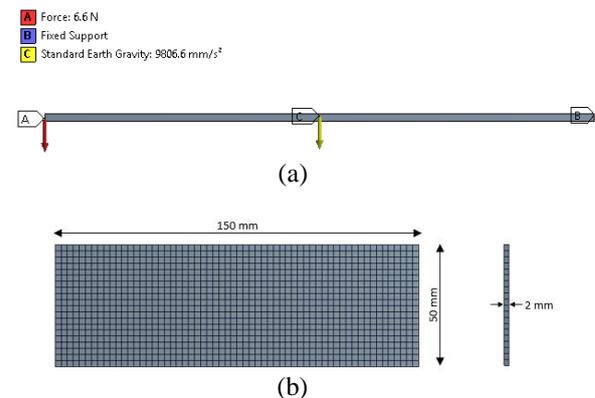
Panjang dari spesimen diasumsikan sebagai sumbu *x*, sedangkan lebar dari spesimen diasumsikan sebagai sumbu *y*. Titik (0,0) berada dekat dengan tumpuan. Gambar 9 berikut adalah tampilan dari peletakkan *strain gauge*. *Strain gauge* diletakkan pada tiga titik (SG), yaitu SG 1 (5, 25), SG 2 (75, 25), dan SG 3 (145, 25).



Gambar 9 Spesimen Kondisi Normal

2.4 Analisis Tegangan dengan Metode Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Finite Element Methods (FEM) Ansys 19.1 Student Version*. Pemodelan pada simulasi disamakan dengan *set-up* pada metode pengukuran, Gambar 10 akan ditampilkan model dari metode simulasi. *Meshing* menggunakan metode *edge sizing*, dimana *sizing* yang diberikan adalah 2.5 mm.



Gambar 10 (a) Model; (b) *Meshing*

2.5 Analisis Tegangan dengan Metode Teoritis

Penelitian ini menggunakan prinsip batang kantilever sebagai *set-up* pengujiannya. Tegangan yang bekerja pada batang kantilever adalah tegangan *bending*. Persamaan dari tegangan *bending* disajikan oleh persamaan 7 berikut [8].

$$\sigma_{\max} = \frac{M \cdot c}{I} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana, *M* adalah momen *bending* (N.mm), *c* adalah jarak dari sumbu netral ke permukaan benda (mm), dan *I* adalah inersia penampang benda (mm⁴). Penampang benda pada spesimen pengujian ini

berbentuk persegi panjang, dimana persamaan inersia penampang benda dari persegi panjang adalah sebagai berikut.

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \dots\dots\dots(8)$$

Pemeriksaan tegangan dengan cara teoritis dan simulasi dilakukan sebagai pembanding dari hasil pengukuran tegangan menggunakan sensor *strain gauge*, agar hasil pengukuran yang dilakukan dapat diterima. Perbandingan antara pengukuran tegangan dengan sensor *strain gauge* dan pemeriksaan tegangan secara teoritis, serta pengukuran tegangan dan simulasi dinyatakan dalam persen *error* (% *error*).

$$\%error = abs \left| \frac{\sigma_{teoritis} - \sigma_{pengukuran}}{\sigma_{teoritis}} \right| \times 100\% \dots\dots(9)$$

$$\%error = abs \left| \frac{\sigma_{simulasi} - \sigma_{pengukuran}}{\sigma_{simulasi}} \right| \times 100\% \dots\dots(10)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengukuran Tegangan

Hasil pengukuran yang ditampilkan *serial monitor* adalah nilai beda voltase, sehingga data tersebut harus dikonversikan ke dalam nilai regangan terlebih dahulu melalui persamaan 4 sebelum menjadi nilai tegangan dengan satuan *mega pascal* (MPa). Berikut adalah contoh data hasil pengukuran tegangan yang diperoleh dari pembebanan 6,6 N, disajikan oleh Tabel 2.

Tabel 2 Data Hasil Pengukuran Tegangan dengan Beban 6,6 N

Parameter	SG 1	SG 2	SG 3
$\Delta E_o'$ (mVolt)	394,48	202,98	8,02
E_m (mVolt)	3500	3500	2240
Gain	500	500	540
GF	2,1	2,1	2,1

Data beda voltase pada Tabel diatas masih dalam pengaruh penguatan sinyal oleh *amplifier*, sehingga perlu dibagikan dengan angka penguatan yang dikeluarkan *amplifier* tersebut. Berikut adalah contoh pengolahan data beda voltase dari SG 1 hingga menjadi nilai tegangan.

$$\Delta E_{o@Sg1} = \frac{\Delta E_o'}{Gain} = \frac{394,48mVolt}{500}$$

$$\Delta E_{o@Sg1} = 0,7889mVolt$$

$$\varepsilon = \frac{4 \times \Delta E_{o@Sg1}}{G \times E_m}$$

$$\varepsilon_{sg1(normal)} = \frac{4 \times 0,7889mVolt}{2,1 \times 3500mVolt}$$

$$\varepsilon_{sg1(normal)} = 0,000429$$

Spesimen uji yang digunakan adalah Alumunium dengan nilai modulus Elastisitas sebesar 69.000 MPa (Callister, jr, 2009). Setelah diperoleh nilai regangan seperti contoh diatas, maka nilai tegangan (*stress*, σ) nya adalah sebagai berikut. Hasil Pengolahan data pada titik-titik pengukuran spesimen kondisi normal dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

$$\sigma = \varepsilon_{sg1(normal)} \times E_{Al6061}$$

$$\sigma = 0,000429 \times 69000MPa$$

$$\sigma_{@Sg1} = 29,63MPa$$

Tabel 3 Hasil Pengolahan Data Pengukuran (6,6 N)

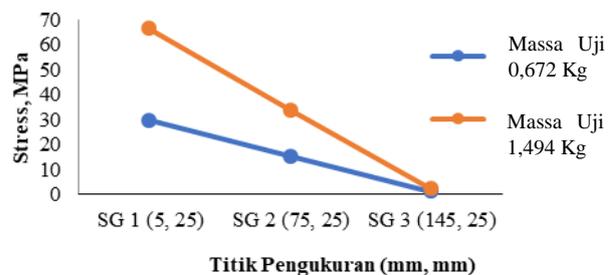
Parameter	SG 1	SG 2	SG 3
ΔE_o (mVolt)	0,7889	0,4059	0,0160
Strain	0,000429	0,00022	1,36E-05
Modulus Elastisitas (MPa)	69000	69000	69000
Stress (MPa)	29,627	15,245	0,942

Tabel 4 Hasil Pengolahan Data Pengukuran (14,65 N)

Parameter	SG 1	SG 2	SG 3
ΔE_o (mVolt)	1,7689	0,8999	0,0360
Strain	0,000963	0,00049	3,07E-05
Modulus Elastisitas (MPa)	69000	69000	69000
Stress (MPa)	66,427	33,795	2,116

Data hasil pengukuran spesimen kondisi normal ditampilkan pada grafik perubahan tegangan dalam Gambar 11.

Grafik Perubahan Tegangan pada Tiap Titik Pengukuran



Gambar 11 Grafik Hasil Pengukuran Tegangan pada Spesimen Kondisi Normal

Besarnya pembebanan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besar kecilnya

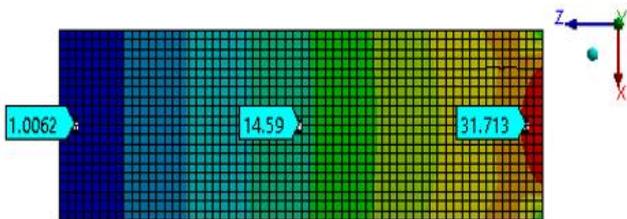
tegangan. Pada Grafik diatas memperlihatkan setiap titik mengalami peningkatan tegangan ketika diberikan beban 6,6 N menjadi 14,65 N. Faktor lain yang mempengaruhi nilai tegangan *bending* adalah momen.. Besarnya momen dipengaruhi oleh beban dan lengan momen (L). Momen pada titik SG 1 lebih besar dibandingkan dengan SG 2 serta lebih besar dari pada SG 3, hal tersebut diakibatkan oleh lengan momen yang semakin besar pada titik SG 1. Semakin besar momen, maka tegangan juga akan semakin besar. Melalui metode teoritis akan ditampilkan perbedaan momen dari tiap titik pengukuran yang menyebabkan tegangan menjadi meningkat.

3.2 Validasi Data Hasil Pengukuran Tegangan

Validasi data hasil pengukuran tegangan menggunakan sensor *strain gauge* dan data akuisisi Arduino dilakukan dengan membandingkannya dengan metode analisis tegangan menggunakan simulasi dan metode analisis tegangan menggunakan pendekatan teoritis.

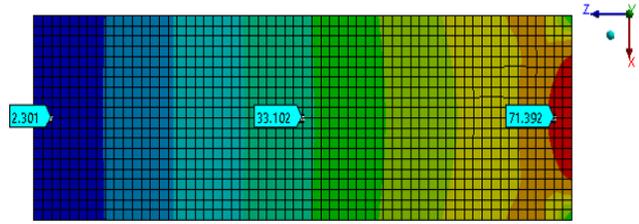
3.2.1 Validasi data pengukuran tegangan dengan metode simulasi

Hasil analisis tegangan dengan metode simulasi ditampilkan dalam Gambar 12 dan Gambar 13. Hasil yang diperoleh cenderung sama dengan metode pengukuran yaitu tegangan akan meningkat ketika menjauhi beban, dan tegangan juga akan mengalami peningkatan ketika beban yang diberikan semakin besar.



Value	Unit	Location X (mm)	Location Z (mm)
31,713	MPa	25,00104	5,004424
14,59	MPa	25,00014	75,00025
1,0062	MPa	24,99986	145

Gambar 12 Hasil Simulasi dengan Pembebanan sebesar 6,6 N



Value	Unit	Location X (mm)	Location Z (mm)
2,301	MPa	25,000038	145
33,102	MPa	25,00034	75,0005
71,392	MPa	25,0012	5,0021

Gambar 13 Hasil Simulasi dengan Pembebanan sebesar 14,65 N

Perbedaan hasil antara metode pengukuran tegangan dengan metode simulasi ditampilkan melalui Tabel 5.

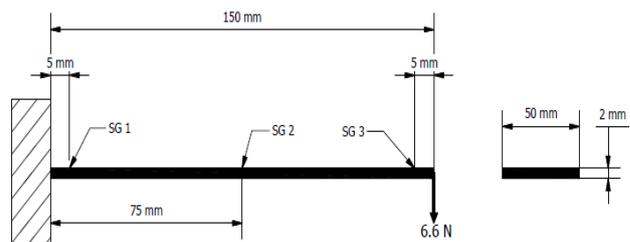
Tabel 5 Data Perbandingan Antara Hasil Pengukuran Tegangan dengan Metode Simulasi

Beban Uji	Titik Pengukuran	Tegangan (MPa)		% Error
		Simulasi	Pengukuran	
6,6 N	SG 1	31,713	29,627	6,5774
	SG 2	14,59	15,245	4,4893
	SG 3	1,0062	0,942	6,3804
14,65 N	SG 1	71,392	66,427	6,9545
	SG 2	33,102	33,795	2,0935
	SG 3	2,301	2,116	8,0399

Perbedaan hasil analisis tegangan yang diperoleh melalui metode pengukuran dengan metode simulasi masih dalam batasan yang wajar, sebab perbedaan terbesar hanya 8,03%. Perbedaan dapat terjadi diakibatkan oleh beberapa faktor, diantaranya faktor dimensi spesimen uji yang tidak benar-benar sama antara simulasi dan pengukuran, *noise* yang dihasilkan oleh rangkaian listrik pada *strain indicator* juga dapat mempengaruhi hasilnya.

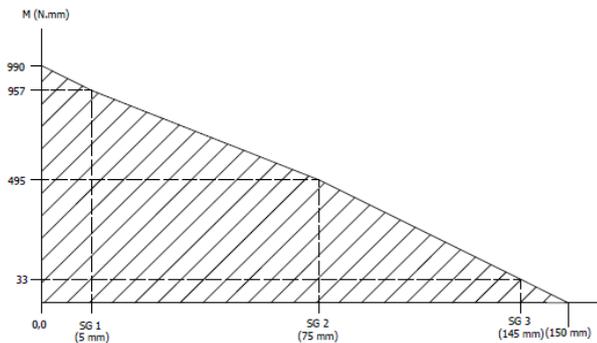
3.2.2 Validasi data pengukuran tegangan dengan pendekatan teoritis

Langkah awal dalam melakukan analisis tegangan dengan pendekatan teoritis adalah membuat Diagram Benda Bebas (DBB) dari pengujian. DBB dari *set-up* pengujian ditampilkan oleh Gambar 14 berikut.



Gambar 14 DBB *Set-up* Pengujian

Set-up pengujian menggunakan prinsip batang kantilever, dimana tegangan *bending* merupakan tegangan yang paling dominan terjadi. Berdasarkan persamaan 7 tegangan *bending* dipengaruhi oleh momen, maka diagram momen diperlukan agar dapat diketahui kemungkinan tegangan maksimum berada sebab besarnya tegangan berbanding lurus dengan momen. Berikut adalah diagram momen dari pembebanan 6,6 N yang ditampilkan oleh Gambar 15



Gambar 15 Diagram Momen pada Pembebanan 6,6 N

Setelah nilai momen diketahui, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai tegangan *bending* dengan persamaan 7. Hasil perhitungan tegangan yang telah dilakukan disajikan secara menyeluruh pada Tabel 6, mengikuti titik-titik pengamatan pada pengukuran tegangan dengan menggunakan sensor *strain gauge*. Hasil pengukuran tegangan kemudian dibandingkan dengan hasil pendekatan teoritis yang juga ditampilkan oleh Tabel 6.

Tabel 6 Perbandingan Antara Data Hasil Pengukuran dengan Data Hasil Metode Teoritis

Beban Uji	Titik Pengukuran	Tegangan (MPa)		% Error
		Teoritis	Pengukuran	
6,6 N	SG 1	28,71	29,627	3,09
	SG 2	14,85	15,245	2,56
	SG 3	0,99	0,942	5,32
14,65 N	SG 1	63,73	66,427	4,06
	SG 2	32,96	33,795	2,47
	SG 3	2,197	2,116	3,8

Hasil yang diperoleh melalui pendekatan teoritis memiliki kecenderungan yang sama dengan metode pengukuran. SG 1 tetap menjadi titik yang mengalami tegangan yang paling besar dibandingkan dengan titik lainnya, hal tersebut bisa terjadi akibat lengan momen yang mempengaruhi besarnya momen sehingga berpengaruh pula kepada nilai tegangannya.

Perbedaan antara hasil pengukuran tegangan dengan teoritis masih dalam batas kewajaran. Metode teoritis mengasumsikan semua kondisi ideal, sedangkan fakta dikondisi nyata tidak seperti itu. Banyak faktor-faktor yang dapat mempengaruhi

hasil pengukuran, seperti ketidak presisian dalam pemotongan pelat sehingga dimensinya tidak sama persis dengan metode teoritis, *noise* dari perangkat pengujian faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Faktor-faktor tersebutlah yang menyebabkan adanya perbedaan antara hasil pengukuran tegangan menggunakan sensor *strain gauge* dengan metode perhitungan teoritis.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil dari analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, perbedaan hasil pengamatan tegangan antara *strain indicator* dari perangkat-perangkat murah seperti *amplifier IC INA 125 P* dan *Arduino* dengan metode teoritis maksimum adalah 5,32%, sedangkan perbedaannya dengan metode simulasi menggunakan *software FEM* maksimum adalah 8,03%.

Daftar Pustaka

- [1] Aradhye, V.G dan Kulkarni, S.S. 2015. Use of *Strain gauge Rossette* to Investigate Stress Concentration Isotropic and Orthotropic Plate with Circular Hole. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 02 (2015): 958-962.
- [2] Kamirul, dkk. 2015. Rancang Bangun *Data Logger* Massa Menggunakan *Load Cell*. *Prosiding SKF 2015*: 211-215.
- [3] AGS-TECH Inc.n.d. "Coding System of *Strain gauge*". <https://www.elecrow.com/download/Coding%20System%20of%20Strain%20Gauges-AGS-TECH%20Version.pdf>. Diakses Juni 19, 2018.
- [4] Figliola, Richard S dan Beasley, Donald E. 2011. *Theory and Design for Mechanical Measurement, 5th Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons. Inc.
- [5] Callister, Jr, William D dan Rethwisch, David G. 2009. *Material Science and Engineering: An Introduction, 8th Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Burr-Brown Corporation. 1998, Februari. *Instrumentation Amplifier With Precision Voltage Reference*. <http://www.pyrobin.com/files/datasheets%20-%20all.pdf>. Diakses 08 September 2017.
- [7] Djuandi, Feri. 2011. *Pengenalan Arduino*. <http://tokobuku.com/docs/Arduino-Pengenalan>. Diakses 14 Februari 2017.
- [8] Beer, Ferdinand, dkk. 2012. *Mechanic of Materials, 6th Edition*. New York: Mc. Grew Hill.