

# Design of Stress Measurement System using Arduino Uno Microcontroller

R. Heni Hendaryati, Trihono Sewoyo , Budiono dan Abdul Malik

Kelompok Kajian Mekanika Terapan

Universitas Muhammadiyah Malang

Jl Raya Tlogomas 246 Malang 65144

\*Corresponding author: trihonosewoyo@gmail.com

**Abstrak.** Penggunaan mikrokontroller Arduino untuk berbagai aplikasi, cukup pesat akhir-akhir ini. Dalam kegiatan ini akan dirancang bangun sebuah sistem pengukuran regangan-tegangan berbasis Arduino uno. Regangan disensor melalui strain gauge yang disusun dalam bentuk jembatan Wheatstone. Tegangan yang keluar dari jembatan ini kemudian diolah dalam rangkaian pengkondisi sinyal. Sinyal tegangan ini kemudian dikirim ke mikrokontroller Arduiono untuk pengolahan data lebih lanjut. Sistem pengukuran yang dirancang-bangun, diuji-cobakan pada struktur beam yang ditumpu sederhana. Hasil pengukuran yang diperoleh dibandingkan dengan hitungan teoritik. Dari kajian yang dilakukan, sistem pengukuran yang dirancang menghasilkan kesalahan yang besar pada beban-beban kecil dan semakin mengecil dengan bertambahnya beban

**Kata kunci:** arduino uno, rancang-bangun, mikrokontroller, pengukuran tegangan.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

---

## Pendahuluan

Arduino Uno merupakan salah satu produk yang berlabel Arduino yang sebenarnya adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronika *open source* yang didalamnya terdapat komponen utama chip mikrokontroller dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Piranti tersebut dapat dimanfaatkan untuk membuat rangkaian elektronik mulai dari yang sederhana hingga kompleks. Bahkan dengan penambahan komponen tertentu, Arduino ini dapat dipakai untuk berbagai aplikasi seperti pemantau kondisi pasien, dan pengendali berbagai alat yang membutuhkan sistem pengontrol.

Arduino pada umumnya dipakai untuk menyederhanakan berbagai macam detail rumit pada pemrograman mikrokontroller sehingga menjadi hal yang mudah untuk digunakan. Arduino memberikan berbagai macam kelebihan seperti dimensinya yang kompak dan kecil. Arduino merupakan perangkat keras yang murah dibandingkan dengan platform mikrokontroller *pro* lainnya, Sederhana dan mudah pemrogramannya, perangkat lunak dan kerasnya *open source*, tidak lagi dibutuhkan chip programmer dikarnakan didalamnya sudah ada *bootloader* yang akan menangani *upload* program dari komputer, dan dalam bahasa pemrograman arduino relatif mudah dikarenakan *software arduino* dilengkapi dengan kumpulan *library* yang cukup lengkap.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ramli, dkk 2018) yaitu analisis pengukuran tegangan pada struktur pelat berbasis *microcontroller arduino* menjelaskan bahwasanya tegangan regangan dapat diukur menggunakan sensor *strain gauge*. Dalam studi

tersebut menggunakan perangkat dasar yang murah dan mudah di temukan di pasar Indonesia seperti penggunaan *arduino* ( sebagai akuisi data ) dan *INA 125 P* ( sebagai penguat signal). Melihat pada penelitian yang dilakukan oleh (Ramli, dkk 2018) maka penelitian selanjutnya akan menggunakan perangkat yang lebih murah dan lebih mudah pengaplikasianya juga mudah didapatkan dalam pemasarannya di Indonesia.

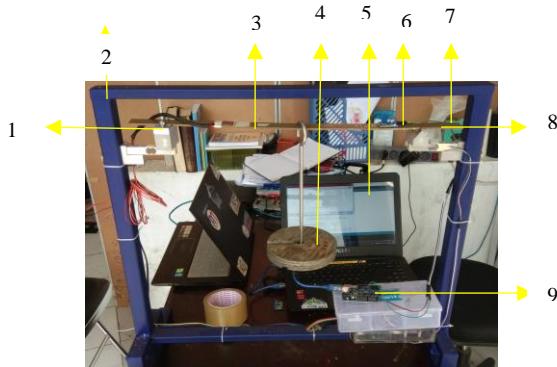
Pada bidang teknik dalam mengetahui kondisi kerja material merupakan hal yang penting, karena sifat mekanik material tersebut dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada suatu material. Pengukuran tegangan regangan yang sering dilakukan ialah dengan menggunakan sensor *strain gauge* dimana sensor *strain gauge* adalah sebuah transduser pasif yang mengubah suatu pergeseran mekanis menjadi perubahan tahanan. *Strain gauge* terbuat dari *foil* atau kawat tahanan berdiameter kecil.

Melihat latar belakang permasalahan yang ada, maka dilakukan rancang bangun sistem pengukuran tegangan regangan pada batang engsel roll. Agar rancang bangun ini dilhat lebih efisien dalam pemakaianya dan perangkat kerasnya juga murah dari segi ekonomi. Salah satu produk yang ada ialah modul *BF 350 AA* dimana pada modul *BF 350 AA* merupakan modul yang cukup komplek dikarnakan pada modul *BF 350 AA* terdapat jembatan wheatstone dan juga penguat amplifier *LM 385 D*. Dalam pemakaian modul ini maka diperlukan arduino untuk penerjemah sinyal. Hasil rancang bangun sistem pengukuran ini diujikan pada batang engsel roll dan data yang didapat akan dibandingkan dengan hitungan analitik.

## Metode Penelitian

### Set-Up Pengujian

Sistem pengukuran tegangan regangan diterapkan pada batang engsel roll yang terdiri dari beberapa komponen utama. Beberapa komponen utama dapat dilihat pada Gambar 1.

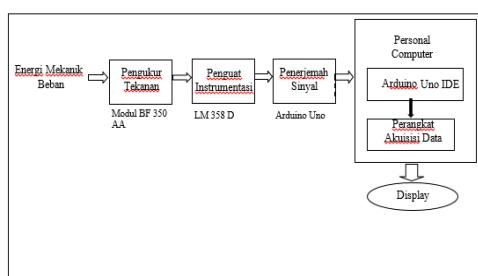


Gambar 1. Set- up Pengujian

Keterangan :

1. Tumpuan Jepit
2. Frame
3. Beam
4. Beban
5. Personal Computer
6. Modul BF 350 AA
7. Strain Gauge
8. Tumpuan roll
9. Arduino uno

Alur dari pemrosesan sistem pengukuran tegangan regangan ditampilkan pada Gambar 2



Gambar 2. Alur pemrosesan

Berdasarkan pada gambar 2 diatas, blok sensor *strain gauge* dan modul *BF 350 AA* sebagai inputan pendeksi tegangan yang akan diukur. Blok penguat instrumentasi adalah amplifier LM 358 D sebagai inpiutan penguat sensor *strain gauge*. Blok mikrokontroller arduino sebagai unit pengolahan data dan merupakan input komputer sebagai penampil data tegangan yang telah diproses arduino.

### Strain gauge dan modul BF 350 AA

Ketika beam terjadi pembebaan maka akan direspon oleh strain gauge yang ikut meregang seperti kondisi beam, hal tersebut terjadi karena strain gauge di tempelkan pada permukaan beam menggunakan perekat (lem *loctatited* ). Dalam sistem pengukuran tegangan regangan ini menggunakan strain gauge tipe BF 350 AA dengan spifikasi pada Tabel 1.

Tabel 1. Spifikasi Strain Gauge Tipe BF 350 AA

Spifikasi	Nilai
Nominal resistance	350
Tolerance of resistance	$\pm 0,1\%$
Gauge faktor	2,00-2,2
Strain limit	2,0 %
Fatigue life	$>10^7$
Metal foil	Contantin alloy
Working temperature range	$-30^\circ\text{C} \pm 80^\circ\text{C}$

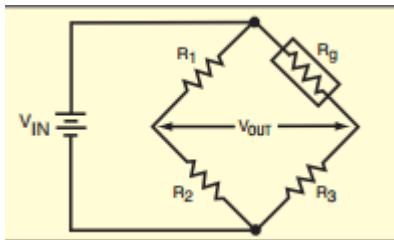
*BF 350 AA* adalah modul tegangan regangan, yang memiliki prinsip kerja mengkonversi perubahan yang terukur dalam perubahan resistansi dan mengkonversinya ke dalam besaran tegangan melalui rangkaian yang ada. Modul melakukan komunikasi dengan computer atau mikrokontroller. Struktur yang sederhana, mudah dalam penggunaan, hasil yang stabil dan reliable, memiliki sensitivitas tinggi, dan mampu mengukur perubahan dengan cepat. Modul ini terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Modul BF 350 AA

Sumber : <https://www.cytron.io/p-bf350-high-precision-pressure-module>

Sinyal dari strain gauge berupa beda hambatan, nilai beda hambatan tersebut sangatlah kecil sehingga membutuhkan sirkuit jembatan wheatston untuk mengkonversikan menjadi tegangan keluar. Jembatan wheatston merupakan sebuah perangkat yang memiliki sensitifitas yang tinggi sehingga cocok untuk mengukur perubahan hambatan dari strain gauge. Tampilan dari sirkuit jembatan wheatstone dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Jembatan Wheatstone

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 akan menghasilkan persamaan berikut

$$GF = \frac{\Delta Rg/Rg}{6} \quad (1)$$

Dari persamaan 1 mempunyai hubungan antara  $V_{out}$  dengan  $V_{in}$  dimana dapat ditulis dengan persamaan :

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \left[ \frac{R_3}{R_3+R_g} - \frac{R_2}{R_1+R_2} \right] \quad (2)$$

Persamaan diatas berlaku untuk kedua kondisi disaat strained dan unstrained. Dalam menentukan nilai saat kondisi unstrained dari resistansi ialah nilai  $R_g$ , nilai dari regangan resistensi adalah  $R_g + \Delta Rg$  diamana persamaan diatas dihubungkan dengan persamaan  $\Delta Rg/Rg$  mendapatkan persamaan :

$$\frac{\Delta Rg}{Rg} = \frac{-4Vr}{1+2Vr} \quad (3)$$

Hubungan antara persamaan dengan persamaan akan menghasilkan persamaan regangan. Berikut uraian dari persamaan regangan

$$\epsilon = \frac{-4Vr}{GF(1+2Vr)} \quad (4)$$

Nilai regangan kemudian dirubah menjadi nilai tegangan menggunakan hukum Hooke, yaitu nilai regangan  $\epsilon$  dikalikan dengan nilai modulus elastisitas ( $E$ ) material dari beam.

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

### Arduino Uno

Arduino Uno adalah salah satu produk berlabel arduino yang sebenarnya adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronika *open source* yang didalamnya terdapat komponen utama, yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Piranti ini dapat dimanfaatkan untuk mewujudkan rangkaian elektronik dari yang sederhana hingga yang kompleks. Pengendalian LED hingga pengontrolan robot dapat diimplementasikan dengan menggunakan papan berukuran relatif kecil ini. Bahkan dengan

penambahan komponen tertentu, piranti ini bisa dipakai untuk pemantauan kondisi pasien di rumah sakit dan pengendalian alat-alat di rumah. Pada Gambar 5 terlihat contoh dari arduino uno.



**Gambar 5.** Mikrokontroler Arduino Uno

Sumber :

<https://ariefeeiggeennblog.wordpress.com/2014/02/07/pengertian-fungsi-dan-kegunaan-arduino/>

### Proses Pengambilan Data

*Finishing* merupakan proses terakhir dalam urutan proses pembuatan alat. Proses *finishing* meliputi perbaikan bagian-bagian komponen yang belum sempurna, pemasangan kabel dan sensor . Setelah komponen semua telah selesai dikerjakan, kemudian komponen-komponen tersebut dirakit menjadi alat yang siap diuji sesuai dengan desain. Adapun urutan cara merakitnya adalah sebagai berikut:

1. Pemasangan sensor *strain gauge* dan modul *BF 350 AA* pada beam.
2. Penyusunan rangkaian jembatan wheatstone.
3. Memasang komponen pada PCB.
4. Memasangkan kabel *output* dan *input* dari *BF 350 AA* ke arduino.
5. Memasangkan kabel konektor *Arduino* ke PC.
6. Membuka Aplikasi *Arduino IDE* pada PC .
7. Menyiapkan *Sketch* Program ADC pada Aplikasi *Arduino IDE* dan segera Verifikasi dan *Compiling Sketch* .
8. Menekan *Serial Monitor* pada Aplikasi *Arduino IDE* hingga keluar hasil untuk mengetahui bahwa program telah berjalan.
9. Melepas kabel konektor *Arduino* dari PC.
10. Memasang kabel konektor adaptor pada *Arduino*.
11. Membuka aplikasi *Arduino IDE* dan menekan serial monitor hingga keluar hasil.
12. Alat siap dilakukan pengujian dan pengambilan data.

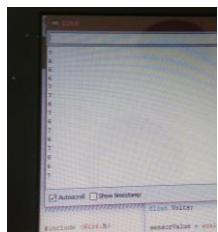
Pada proses pembebanan dimana pembebanan ini divariasikan yaitu 398, 801, 1204, dan 1608 gram. Beban ini diberikan pada posisi tengah batang yang digantung pada beam dengan

menggunakan pengait. Gambar 6 berikut posisi pembebanan yang diterapkan pada saat pengukuran.



**Gambar 6.** Posisi pembebaan saat pengukuran

Pada *Serial Monitor* ditampilkan data yang telah diproses dari sistem pengukuran tegangan regangan. Data yang keluar merupakan data analog read dimana ketika pin analog di tetapkan sebagai penginput data, dimana keluarannya berupa angka diantara 0 (untuk 0 volts) dan 1023 (untuk 5 volts) data yang keluar rangenya naik turun seperti terlihat pada Gambar 7 maka perlu diolah data lagi menggunakan Microsoft Excel untuk mendapatkan nilai yang linier. Dari data linier tersebut dapat diolah menjadi nilai strain selanjutnya menjadi nilai stress dengan satuan MPa.



**Gambar 7.** Tampilan dari IDE Arduino

### Peletakan Sensor Strain gauge

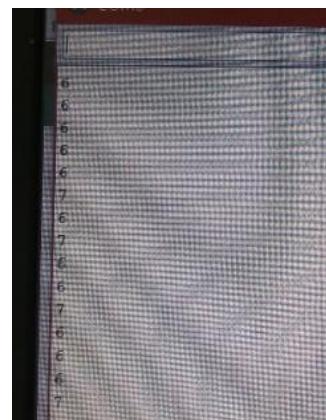
Peletakan sensor strain gauge ini dilakukan berdasarkan koordinat sumbu x dan sumbu y. Dimana panjang dari beam diasumsikan sebagai sumbu x. Titik (0,0) berada pada tumputan engsel dapat dilihat pada Gambar 8



**Gambar 8.** Posisi Sensor Strain Gauge

### Hasil dan Pembahasan

Data yang diperoleh ditampilkan pada *serial monitor* pada Gambar 9. Data yang diperoleh merupakan data yang fluktuatif sebab modul tersebut sangat sensitif pada saat ada pembebaan maka dari itu diambil 10 data nilai keluaran. Data tersebut selanjutnya diolah untuk mendapatkan nilai yang *linier* seperti Tabel 2. Berikut data yang ditampilkan pada *serial monitor*

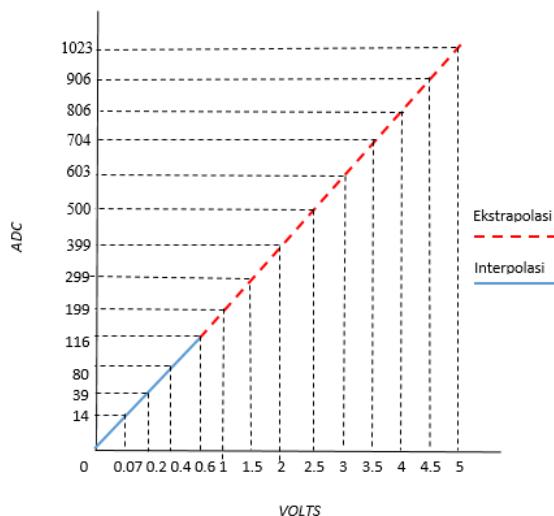


**Gambar 9.** Tampilan Data dari IDE Arduino

**Tabel 2.** Nilai Tegangan

Beban. (gram)	Analog Read range	Rata-rata
398	7,19,14,6,15,23,18,6,12,22	14.2
801	55,50,35,34,41,52,53,34,35,45	39,4
1204	60,72,77,81,84,85,84,86,,87,87	80,3
1608	109,111,116,117,118,122,127,12 7,122,113,103	115,8

Data *linier* yang didapatkan terlebih dahulu dikonversikan agar menjadi data digital. Pada pin analog arduino dapat menerima nilai hingga 10 BIT (Binary Digit), sehingga dikonversikan data ke analog. Dimana pada nilai 0 mempresentasikan tegangan 0 volt dan nilai 1023 mempresentasikan tegangan 5 volt. Pada proses konversi dari nilai analog menjadi digital ini disebut dengan proses ADC (*Analog to Digital Conversion*). Dalam melakukan pengkonversian data keluaran dari arduino yang berupa nilai BIT agar menjadi *voltase* dapat dilakukan pengkalibrasi dengan cara memberi tegangan pada arduino menggunakan *power supply* bervariasi dari 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, dan 5 volt akan terlihat keluaran nilai BIT pada serial monitor. Maka hasil pengkalibrasi mendapatkan interpolasi dan ekstrapolasi. Berikut ini grafik hubungan keluaran dari serial monitor dengan volts pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Grafik Hubungan ADC Arduino dengan Voutput dari Power Supply

Pada grafik gambar 10 maka nilai keluaran ADC dapat dikonversikan dengan nilai tegangan berupa *volt*s sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{y-y^1}{y^2-y^1} &= \frac{x-x^1}{x^2-x^3} \\ \frac{y-0}{5-0} &= \frac{x-0}{1023} \\ 1023y &= 5x \\ y &= \frac{5}{1023}x \end{aligned} \quad (6)$$

Contoh perhitungan pada beban 398 gram dengan menggunakan persamaan (7) sebagai berikut:

$$\text{Tegangan (volt)} = \frac{5}{1023} \times 14,2 = 0,0694 \text{ Volt.}$$

Berikut adalah data hasil sistem pengukuran regangan tegangan dengan pembebahan bervariasi, disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Data Hasil Pengukuran Tegangan dengan Beban Bervariasi

Beban (Kg)	Analog Read Rata-rata (BIT)	Tegangan (ADC)	Tegangan (avometer)
0,398	14,2	0,0694	0,06
0,801	39,4	0,1925	0,20
1,204	80,6	0,3924	0,38
1,608	115,8	0,5659	0,5

Tabel 3 memperlihatkan data beda voltase yang mana pada proses pengambilan data dilakukan dengan pengambilan data tegangan melalui *serial monitor* dan mengukur tegangan melalui alat multimeter . Pengambilan data tersebut dilakukan juga dengan multimeter agar dapat membandingkan hasil yang didapatkan dari modul BF 350 AA . Melihat dari data tersebut

mendapatkan data yang hampir sama antara tegangan (ADC) dengan pengambilan data menggunakan multimeter.

### Perhitungan Regangan Tegangan

Hasil data beda voltase dari modul BF 350 AA dilakukan pengolahan data menjadi nilai regangan ( $\epsilon$ ). Contoh pembebahan 398 gram sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{4V_r}{GF(1+2V_r)} = \frac{4.(0,0000119)}{2,14(1+2,0,0000119)} \\ \epsilon &= 0,0000222 \end{aligned} \quad (7)$$

dimana :

$$\begin{aligned} V_r &= [(V_{out}/V_{in})_{strained} - (V_{out}/V_{in})_{unstrained}] \\ GF &= \text{Gage Factor} \\ \epsilon &= \text{Regangan} \end{aligned}$$

Nilai  $V_r$  diambil dari persamaan diatas dimana persamaan tersebut dihitung pada kondisi *strained*, dikarenakan kondisi awal sebelum pembebahan bernilai 0. Rumus mencari  $V_r$  mengacu pada rangkaian jembatan *wheatstone* maka nilai volt pada outputan ADC dibagi dengan penguatan yaitu sebesar 1215,34 x penguatan. Nilai 1215,34 x penguatan didapat melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned} G &= \frac{4+940 \text{ K}\Omega}{RG} \quad RG = 0,776\text{K} \\ G &= \frac{4+940 \text{ K}\Omega}{0,776\text{K}} \\ G &= 1215,34 \end{aligned} \quad (8)$$

Contoh nilai  $V_r$  saat kondisi pembebahan 398 gram sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_r &= \frac{V_{output}}{V_{in} \times G} = \frac{0,0694}{4,8 \times 1215,34} \\ V_r &= 0,0000119 \end{aligned} \quad (9)$$

**Tabel 4.** Hasil Perhitungan Regangan.

Beban	G	GF	Vr	Regangan
398	1215,3	2,14	0,00001	0,000022
	4		19	2
801	1215,3	2,14	0,00003	0,000061
	4		29	7
1204	1215,3	2,14	0,00006	0,000125
	4		73	
1608	1215,3	2,14	0,00009	0,000181
	4		7	

### Perhitungan Pertambahan Panjang

Pertambahan panjang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{\Delta L}{L} \\ \Delta L &= \epsilon \cdot L \end{aligned} \quad (10)$$

**Tabel 5.** Hasil Pertambahan Panjang

Beban (gram)	Regangan	Panjang Beam (mm)	Tegangan Mpa
398	0,0000222	400	0,00888
801	0,0000617	400	0,02468
1204	0,000125	400	0,05
1608	0,000181	400	0,0724

### Perhitungan Tegangan

Spesimen uji yang digunakan adalah Kuningan dengan nilai modulus elastisitas sebesar  $105 \times 10^9$  diperoleh dari tabel *properties in S.I units* pada buku Arthur P Boresi and Richard,J. Schmidt 2003 Advanced Mechanics of Material. Setelah diperoleh nilai regangan seperti diatas, maka nilai tegangan ( $\sigma$ ) nya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut pada kondisi pembebahan 398 gram. Hasil pengolahan data sistem pengukuran tegangan regangan dapat dilihat pada Tabel 5.

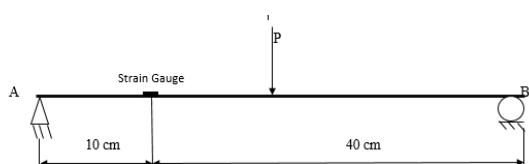
$$\sigma = \epsilon_x E_{\text{kuningan}} \quad (11) \\ = 0,0000222 \times (105 \times 10^9) = 2334778,2 \text{ Pa}$$

**Tabel 6** Hasil Pengolahan Data Pengukuran Tegangan Regangan Beban

Beban (gram)	Regangan	Tegangan (Pa)
398	0,0000222	2334778,2
801	0,0000617	6475876,5
1204	0,000125	13199791
1608	0,000181	19034958

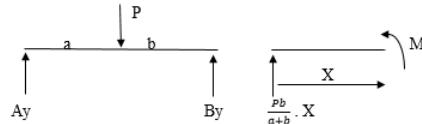
### Validasi data Pengukuran tegangan dengan Pendekatan Teoritis

Validasi data hasil pengukuran tegangan menggunakan sensor strain gauge dengan modul BF 350 AA berbasis mikrokontroller arduino dilakukan dengan metode analisis tegangan menggunakan pendekatan teoritis. Dalam melakukan analisis tegangan dengan pendekatan teoritis adalah menggunakan Diagram Benda Bebas (DBB) dari pengujian. Berikut ini DBB pengujian pada alat pengukuran tegangan.



**Gambar 11.** diagram Benda Bebas

Set up pengujian pada gambar 11 ialah menggunakan prinsip batang kantilever engsel roll, dimana pada metode selanjutnya ialah menggunakan metode perpotongan seperti terlihat pada Gambar 12 sebagai berikut.



**Gambar 12.** Metode Perpotongan

$$Ay = \frac{Pb}{a+b} ; \quad By = \frac{Pa}{a+b} \quad (12) \\ M = \frac{Pb}{a+b} \cdot x \\ M = 0,5 \cdot P \cdot x \\ P' = P \cdot g$$

Dimana x ialah jarak posisi strain gauge ke tumpuan engsel ialah 0,10 m dan a,b ialah jarak pembebahan diantara tumpuan yaitu 0,2 m. Berdasarkan persamaan diatas maka diagram momen diperlukan agar dapat diketahui tegangan maksimal sebab besarnya tegangan berbanding lurus dengan momen. Berikut ini menentukan nilai tegangan dari persamaan momen diatas.

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I_{\text{beam}}} \quad (13)$$

Dimana momen inersia batang pengujian yaitu dengan tebal 3mm dan lebar 25 mm, maka dalam menentukan momen inersia dan c adalah jarak dari sumbu netral ke permukaan benda sebagai berikut :

$$I_{\text{beam}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{(0,025)(0,003)^3}{12} = 5,625 \times 10^{-11} \quad (14) \\ c = \frac{0,003}{2} = 0,0015 \text{ m}$$

(15)

Dari persamaan diatas maka diperoleh nilai tegangan dengan metode teoritik pada beban 398 gram sebagai berikut dan di tampilkan pada Tabel 6 :

Diketahui :

Beban 398 gram

$g = 9,81 \text{ m/s}$

$a=b = 0,2 \text{ m}$

$I_{\text{beam}} = 5,625 \times 10^{-11}$

$c = 0,0015 \text{ m}$

$x = 0,1 \text{ m}$

Perhitungan :

Menghitung beban satuan Newton.

$$P' = P \cdot g$$

$$(16) \\ P' = 0,398 \times 9,81$$

$$P' = 3,90438 \text{ N.}$$



Menghitung Momen.

$$M = 0.5 \cdot P' \cdot x$$

$$M = 0.5 \times 3.90438 \times 0.1$$

$$M = 0.195219$$

Menghitung Tegangan.

$$\sigma = \frac{Mc}{I_{beam}}$$

$$\sigma = \frac{0.195219 \times 0.0015}{5.625 \times 10^{-11}}$$

$$\sigma = 5205840$$

**Tabel 7.** Hasil perhitungan teoritis

Beban (kg)	P' (N)	M Lentur	Tegangan (σ)
0.398	3.90438	0.195219	5205840
0.801	7.85781	0.3928905	10477080
1.204	11.81124	0.590562	15748320
1.608	15.77448	0.788724	21032640

### Perbandingan Data Pengukuran dengan Data Teoritis

Dari data pengukuran dan data teoritis regangan tegangan dapat diperiksa dengan melakukan perbandingan .Perbandingan antara pengukuran tegangan dan teoritis dinyatakan dalam persentase *error* (% error) sebagai berikut :

$$\% \text{ error} = \text{abs} \left[ \frac{\sigma_{\text{teoritis}} - \sigma_{\text{pengukuran}}}{\sigma_{\text{teoritis}}} \right] \times 100\% \quad (17)$$

Contoh saat pembebanan 398 gram yaitu :

$$\% \text{ error} = \text{abs} \left[ \frac{5205840 - 2334778,2}{5205840} \right] \times 100\% = 55,2 \%$$

Hasil perhitungan tegangan yang telah dilakukan disajikan secara menyeluruh pada tabel 5 dengan membandingkan data pengukuran dan teoritis dinyatakan dalam persen *error* % untuk pemeriksaan data sebagai berikut :

**Tabel 8.** Perbandingan Data Hasil Pengukuran dengan Hasil Metode Teoritis

Beban (kg)	Tegangan		Tegangan (σ)
	Pengukuran	Teoritis	
0.398	2334778,2	5205840	55,2
0.801	6475876,5	10477080	38,2
1.204	13199791	15748320	16,2
1.608	19034958	21032640	9,5

Hasil yang diperoleh dari pendekatan teoritis terlihat cenderung sama namun terlihat dari persentase di pembebanan 0,398 kg sangat jauh perbedaan dari pengukuran dengan teoritis yaitu 55,2%. Pada kondisi pembebanan 0,801 kg persentase error menurun hingga di pembebanan 1,608 kg dengan persentase *error* 9,5 % , Dengan melihat persentase tersebut bahwasanya terlihat saat kondisi pembeban awal nilai keluaranya fluktatif cenderung berubah ubah secara signifikan ,hal tersebut bisa terjadi bahwasanya modul *BF* 350 AA akan bersifat stabil nilai keluaranya jika terbebani dengan beban yang besar, adapun juga terjadi kesalahan di proses *set up* pengukuran tegangan. Banyak faktor –faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran, seperti ketidak presision dalam pemotongan benda uji sehingga dimensinya tidak sama persis dengan metode teoritis, *noise* dari perangkat pungujian. Faktor – faktor tersebutlah menyebakan adanya perbedaan antara hasil pengukuran tegangan menggunakan sensor *strain gauge* dengan metode perhitungan teoritis.

### Kesimpulan

Telah berhasil dirancang bangun system pengukuran regangan-tegangan menggunakan mikrokontroller Arduino Uno. Dari hasil-hasil yang diperoleh menunjukkan kesalahan pengukuran cukup besar pada beban kecil dan semakin mengecil dengan bertambahnya beban. Hal ini menunjukkan bahwa pengujian dengan beban kecil memunculkan ketidak-linearan system pengukuran dan perlu dilakukan pengujian dengan beban yang lebih besar.

### Daftar Pustaka

- [1] Djoko,Y.S., 2010, Analisis Tegangan Eksperimental Pada Balok Baja WF 150x75x5x7 Dengan Menggunakan Strain Gauge, Skripsi, Teknik Sipil, Bandung
- [2] Fradden, J., 2003, Handbook of Modern Sensor, Physics Designs and Applications, Edisi 3, San Diego, California
- [3] Halliday, D , Resnick, R., Walker,J., 1997, Fundamentals of Physics, John Wiley and Sons, Kanada
- [4] Ramang, M., 2010, Penggunaan Strain Gauge untuk Analisa Tegangan pada Pembebanan Statik Batang Aluminium, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Palu
- [5] Suri, R.B., 2003, Studi Pembuatan Alat Ukur Berat Tetes Zat Cair Berbasis PC Dengan Sensor Strain Gauge, Skripsi, Universitas Andalas, Padang.

- [6] Dieter, G, E., 1988, Mechanical Metallurgy SI Metric Edition, London.
- [7] <https://www.cytron.io/p-bf350-high-precision-pressure-module>, diakses 19 September 2019.
- [8] <https://ariefeeliggeennblog.wordpress.com/2014/02/07/pengertian-fungsi-dan-kegunaan-arduino/>, diakses 20 September 2019