

RANCANG BANGUN ALAT UKUR REGANGAN MENGGUNAKAN SENSOR STRAIN GAUGE BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA8535 DENGAN TAMPILAN LCD

Hendra Saputra, Meqorry Yusfi

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas

e-mail: eenhs@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian rancang bangun alat ukur regangan menggunakan sensor *strain gauge* berbasis mikrokontroler ATmega8535. Sensor *strain gauge* dipasang pada permukaan logam uji dengan rangkaian *dummy* pada konfigurasi jembatan *Wheatstone*. Pengukuran menggunakan logam kuningan dengan luas penampang $0,0425 \text{ m}^2$ dan logam besi dengan luas penampang $0,0619 \text{ m}^2$. Hasil keluaran dari jembatan *Wheatstone* merupakan nilai tegangan dalam orde mV sehingga dibutuhkan penguatan linear yaitu penguat instrumentasi sebesar 500 kali penguatan. Proses kerja mikrokontroler menggunakan bahasa Bascom dengan persamaan konversi $6 \times 10^{-12} (\text{ADC}) + 1 \times 10^{-9}$. Pengukuran dengan logam kuningan menghasilkan *error* sebesar 9,97% dengan besar beban untuk regangan maksimum dan minimum adalah 700 g – 5000 g dan logam besi menghasilkan *error* sebesar 4,43% dengan besar beban untuk regangan maksimum dan minimum adalah 2400 g – 10000 g. Sensitivitas dari alat ukur ini sebesar 0,004 mV/gram.

Kata kunci : strain gauge, jembatan *Wheatstone*, ATmega8535, regangan, penguat instrumentasi

ABSTRACT

Design of strain measuring instrument has been performed using strain ATmega8535-based strain gauge sensor. The strain gauge sensor is installed on a test metal surface coupled with dummy circuit on Wheatstone bridge configuration. Measurements were carried out by using brass and ferrous metals with cross-sectional area of 0.0425 m^2 and 0.0619 m^2 respectively. The voltage output of the Wheatstone bridge is the order of mV thus 500 times linear is required. Bascom programming language is used in microcontroller process with conversion equation is $6 \times 10^{-12} (\text{ADC}) + 1 \times 10^{-9}$. The absolute error resulted from measurements of brass is 9.97% for the range of mass 700 g – 5000 g, while the absolute error of ferrous metal is 4.43% for the range of mass 2400 g – 10000 g. The sensitivity of this measurement is 0.004 mV/gram.

Keywords: strain gauge, Wheatstone bridge, ATmega8535, strain, instrumentation amplifier

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan pengukuran kekuatan logam untuk menahan beban baik dalam skala bangunan maupun pada skala laboratorium memerlukan suatu alat yang memadai dan lebih akurat. Pengukuran kekuatan logam meliputi pengukuran sebuah gaya, kuat lentur dan regangan logam. Pengukuran kelenturan bahan secara manual dapat menggunakan instrumen *dial* indikator yaitu sebatang logam dimana kedua ujung logam diklem dan kemudian diletakkan sejajar dengan beban yang diberikan pada batang logam (Halliday, 1997). Instrumen *dial* indikator memiliki bentuk seperti kompas dengan dua buah jarum penunjuk yang memiliki ketelitian cukup kecil yaitu 0,01 mm dan dilengkapi dengan jarum pendeteksi yang akan mengindera penyimpangan pada logam yang diakibatkan oleh beban dan tekanan terhadap logam uji. Besar kelenturan ditentukan oleh jumlah garis penyimpangan dari posisi awal jarum dikalikan dengan besar ketelitian dari *dial* indikator. Instrumen *dial* indikator memiliki keterbatasan yaitu kurang sensitif terhadap perubahan kelenturan, karena pengindera yang digunakan adalah jarum yang bukan tergolong sensor. Data yang telah didapatkan dari pengukuran kelenturan logam dengan *dial* indikator juga bisa digunakan untuk menentukan besar modulus *Young* dari logam, karena instrumen ini kurang sensitif terhadap perubahan yang terjadi pada logam maka dibutuhkan data yang lebih akurat untuk menentukan data modulus *Young* dari batang tersebut dengan nilai regangan pada batang logam ketika diberi tekanan.

Pada penelitian Djoko (2010) yaitu analisis tegangan eksperimental pada balok baja WF 150x75x5x7 dengan menggunakan sensor *strain gauge* untuk pengukuran regangan logam dipandang akurat dan lebih teliti pembacaan nilai regangannya. Dilihat dari penelitian tersebut

maka untuk penelitian ini akan dikembangkan penggunaan sensor *strain gauge* untuk dapat mengukur nilai regangan logam terhadap pembebanan.

Ada beberapa sensor yang dapat mengindera besaran fisis seperti tekanan dan gaya yaitu sensor *strain gauge*, sensor *load cell*, sensor piezoresistif serta sensor piezoelektrik. Beberapa sensor sering digunakan dalam pembuatan alat ukur massa, tekanan dan gaya. Penggunaan sensor piezoelektrik, piezoresistif dan *load cell* sebagai sensor gaya, tekanan dan berat kurang cocok untuk alat ukur regangan logam karena perancangan yang cukup sulit. Sensor *strain gauge* cukup murah dan mudah untuk didapat serta cakupan yang cukup luas dalam pengukuran dan dapat digunakan lebih dari satu buah untuk meningkatkan sensitifitas dalam pengukuran (Fahrizal, 2004). Beberapa kelebihan dari sensor *strain gauge* dapat dilihat dari bentuk yang lebih sederhana dengan massa yang dapat diabaikan dan ukurannya yang kecil, sehingga tidak menimbulkan interferensi (gangguan pengaruh luar) pada tegangan dalam spesimen sensor, memiliki kepekaan yang tinggi terhadap frekuensi sehingga dapat digunakan untuk menelusuri rambatan fluktuasi tegangan yaitu sensitif terhadap getaran yang terjadi pada logam. Sensor ini memungkinkan untuk melakukan pengukuran pada sejumlah titik secara bersamaan dan pengukuran jarak jauh karena dilengkapi dengan penyambungan yang panjang. Keluaran sensor *strain gauge* berupa sinyal elektrik berupa tegangan analog yang dapat memudahkan dalam pengolahan data (Dieter, 1988).

Sensor *strain gauge* bekerja berdasarkan perubahan tekanan yang mengakibatkan perubahan resistansi. Sensor *strain gauge* berbentuk *foil* logam atau kawat logam yang bersifat penghantar arus listrik yang ditempel pada benda yang akan diukur regangan dimana besar regangan berasal dari pembebanan (Fradden, 2003). Untuk meningkatkan sensitifitas dan mengubah perubahan resistansi dari sensor ke besaran tegangan yang akan diolah mikrokontroler, dapat digunakan prinsip jembatan *Wheatstone* untuk menghasilkan tegangan keluaran dengan mengetahui besar hambatan resistor yang digunakan (Ramang, 2010). Perancangan alat ukur akan digunakan dua buah sensor *strain gauge* yang diletakkan dipermukaan bahan yang akan diuji, dimana sensor ini akan mengindera perubahan yang terjadi pada bahan yang akan diuji regangannya.

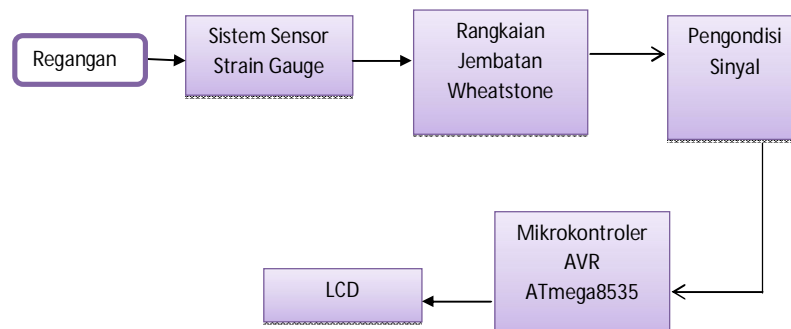
Pada penelitian Suri (2003), sensor *strain gauge* digunakan sebanyak empat buah yang dipasang berdasarkan prinsip rangkaian jembatan *Wheatstone*, penelitian ini hanya sebatas tampilan program atau PC dengan program *Delphi* yang dapat membandingkan nilai yang didapat dari alat ukur yang dibuat dengan nilai berat yang diukur dengan neraca, penelitian ini mengukur berat tetes zat cair menggunakan sensor *strain gauge* sebanyak empat buah sensor. Hal ini dikarenakan pertimbangan temperatur pada rangkaian jembatan *Wheatstone*, ketika keempat hambatan pada jembatan *Wheatstone* tidak sama maka akan terjadi perbedaan arus yang mengalir pada jembatan dan akan mengakibatkan tidak seimbangnya temperatur pada tiap lengan jembatan dan penggunaan empat buah sensor ini juga bertujuan untuk meningkatkan kesensitifitasan pengukuran.

Pada penelitian yang akan dilakukan digunakan dua buah sensor yang dirangkai secara *dummy* jembatan *Wheatstone* sebagai pengindera dari tekanan pada bahan yang akan diuji. Penggunaan dua buah sensor diperkirakan dapat mengurangi biaya, meningkatkan efisiensi dan mempermudah pemakaian dengan tampilan hasil pada LCD.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Perancangan Diagram Blok

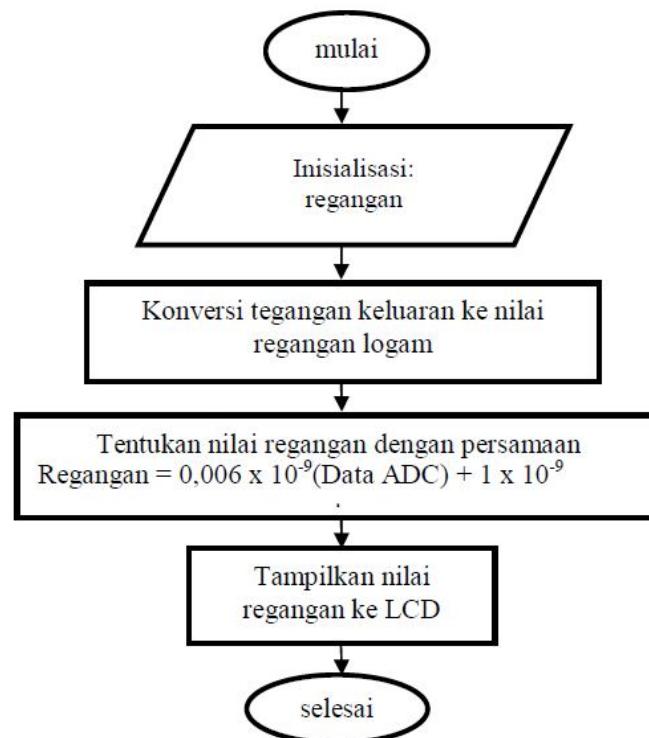
Secara keseluruhan, diagram blok perancangan perangkat keras yang akan dibangun/ dibuat dalam penelitian ini adalah seperti pada Gambar 1. Besaran fisis regangan akan diindera oleh sensor *strain gauge*. Keluaran sistem sensor ini berupa tegangan analog dari konfigurasi jembatan *Wheatstone* yang menghasilkan tegangan dalam orde mV yang kemudian akan dikuatkan dengan penguat instrumentasi sehingga menghasilkan tegangan dalam orde volt. Hasil keluaran tersebut akan diproses pada mikrokontroler ATmega8535 menggunakan program bascom sehingga menghasilkan nilai regangan yang kemudian ditampilkan dalam LCD matrik 2 x 16.



Gambar 1 Diagram blok rancang bangun alat ukur regangan

2.2 Perancangan Program Mikrokontroler

Perancangan program mikrokontroler menggunakan aplikasi Bahasa BASCOM dengan menggunakan software Basic Compiler (BASCOM) AVR. Diagram alir program tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.

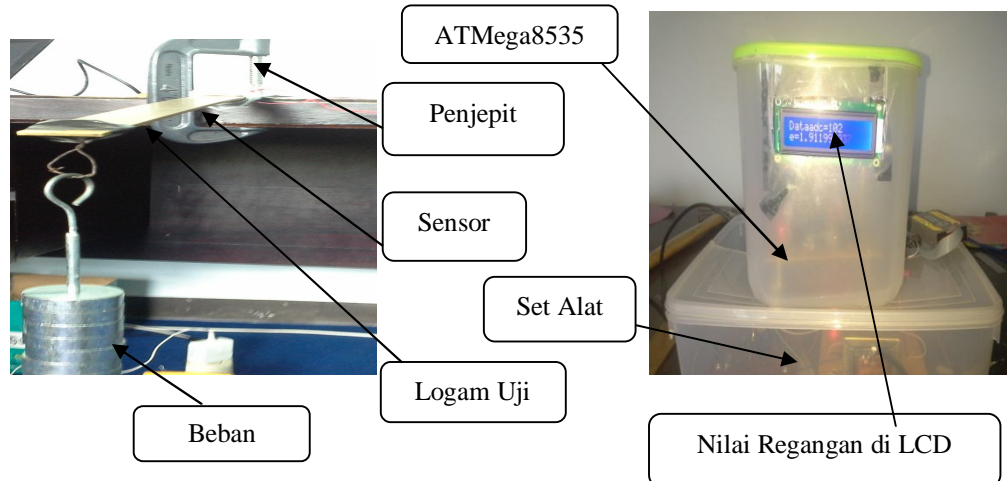


Gambar 2 Diagram alir program mikrokontroler

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Perancangan Sistem Pengukuran

Rancang bangun alat ukur regangan dapat dilihat pada Gambar 3, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa perancangan ini menggunakan sebuah logam uji yang dijepit salah satu ujungnya dan yang satu lagi dilepas. Sensor *strain* gauge dipasang pada permukaan atas dan bawah dari logam uji dengan konfigurasi rangkaian *dummy* jembatan *Wheatstone*. Tampilan nilai regangan menggunakan penampil LCD natrik 2 x 16.

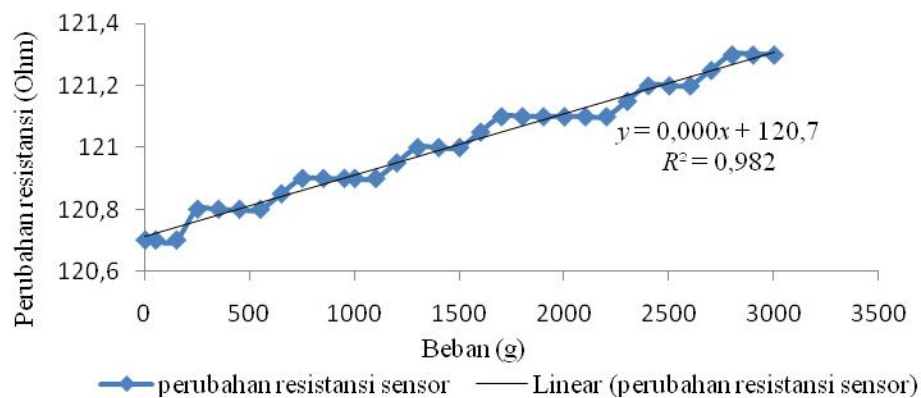


Gambar 3 Rancangan sistem pengukuran regangan secara keseluruhan

3.2 Pengujian Perangkat Keras

3.2.1 Pengujian Perubahan Resistansi Sensor *Strain Gauge* Terhadap Pembebanan

Sensor *strain gauge* merupakan sensor pasif, sehingga perlu diberikan tegangan dari luar. Tegangan yang dihasilkan dari catudaya yaitu 4,95 V, tegangan ini sudah berada dalam rentang yang diperlukan modul sensor yaitu antara (4,5-5) V. Data pengujian perubahan resistansi sensor terhadap pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.

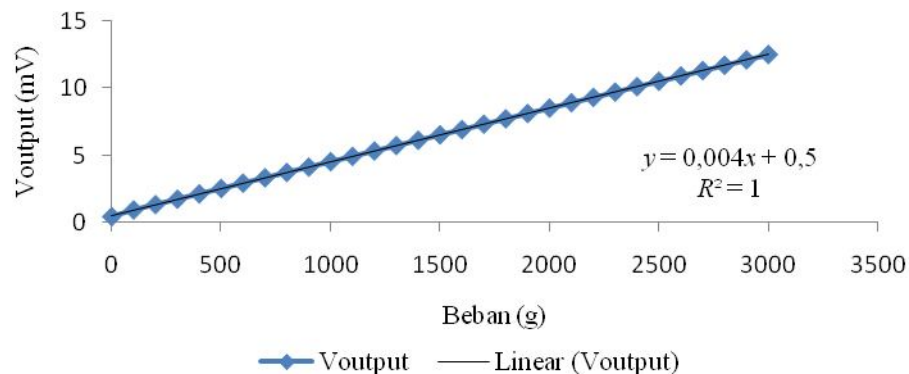


Gambar 4 Pengujian perubahan resistansi sensor terhadap pembebanan

Dari data pengujian sensor *strain gauge* dapat dilihat bahwa perubahan resistansi terhadap beban telah *linear* dengan fungsi tranfer yaitu $y = 0,000x + 120,7$ dan nilai pendekatan yaitu $R^2 = 0,982$, dari data tersebut telah melihat bahwa perubahan resistansi sensor terhadap beban telah sesuai dengan yang diharapkan dan dapat di konversi sebagai nilai tegangan menggunakan rangkaian jembatan *Wheatstone*. Perubahan resistansi tersebut akan berbanding lurus terhadap perubahan panjang benda uji dan regangan yang terjadi pada benda uji.

3.2.2 Pengujian rangkaian jembatan *Wheatstone*

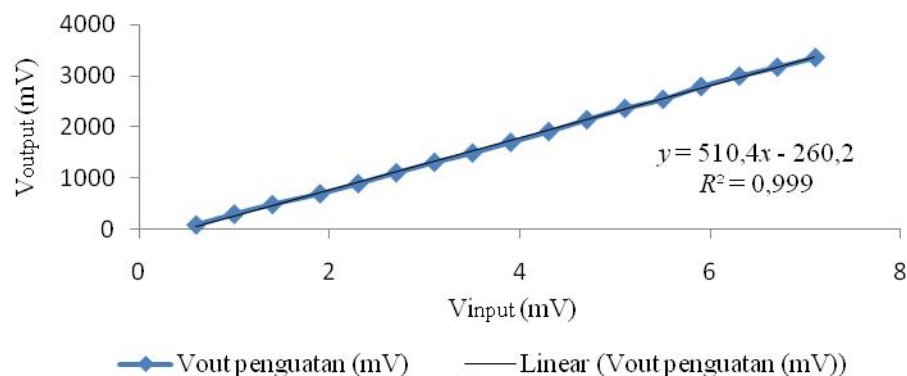
Rangkaian jembatan *Wheatstone* yang digunakan adalah metode aktif-*dummy*, pada rangkaian ini menggunakan dua buah sensor *strain gauge* dimana satu sensor berfungsi sebagai pengindra nilai regangan dan sensor yang lain sebagai *dummy* atau kompensasi temperatur. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5 Pengujian rangkaian *dummy* jembatan *Wheatstone*

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa perubahan beban berbanding lurus dengan tegangan keluaran jembatan *Wheatstone* dengan nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 1$, nilai ini menunjukkan nilai yang sangat linear. Pengujian yang dilakukan juga menunjukkan sensitifitas dari alat ukur ini sebesar 0,004 mV/g.

3.2.3 Pengujian Penguat Instrumentasi

Karakteristik penguat instrumentasi digunakan untuk menguatkan tegangan keluaran dari rangkaian jembatan *Wheatstone* agar dapat dibaca dan diolah oleh mikrokontroler. Penguat instrumentasi menggunakan penguatan sebesar 500 kali. Pengambilan data menggunakan potensiometer dengan variasi tegangan input dari potensiometer tersebut. Pengambilan data dilakukan pada saat rangkaian sinyal masukan terhubung sempurna dengan rangkaian penguat instrumentasi. Karakteristik dari rangkaian penguat instrumentasi dapat dilihat pada Gambar 6.

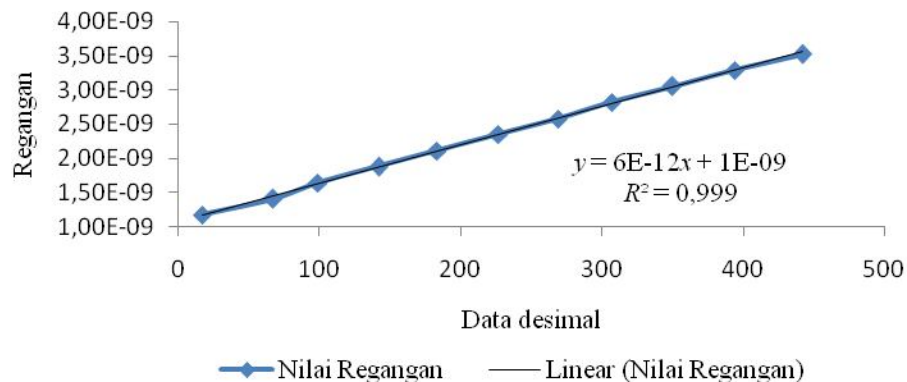


Gambar 6 Karakteristik penguat instrumentasi

Hasil menunjukkan bahwa hubungan antara masukan penguat dan keluaran penguat adalah *linear*. Hal tersebut dilihat dari koefisien korelasi yang mendekati 1. Dari grafik juga terlihat bahwa besar penguatan yang terjadi adalah sebesar 510 kali. Hasil tersebut telah mendekati dengan hasil penguatan yang diharapkan yaitu 500 kali.

3.3 Persamaan Regangan pada Software

Mengingat bahwa keluaran sensor *strain gauge* menjadi masukan pada rangkaian penguat instrumentasi dan hasil penguat instrumentasi menjadi masukan pada rangkaian mikrokontroler ATmega8535 maka diambil hubungan linear antara pembacaan ADC setiap perubahan beban dan dihubungkan dengan pembacaan regangan yang telah dicari secara teori. Pengambilan data untuk persamaan nilai regangan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Hubungan data desimal dengan nilai regangan

Dari Gambar 7 terlihat bahwa pembacaan regangan oleh sensor *strain gauge* sebanding dengan pembacaan desimal ADC mikrokontroler ATmega8535. Dengan menggunakan pendekatan garis *linear* didapatkan hubungan antara pembacaan regangan dengan data desimal dalam bentuk Persamaan 1.

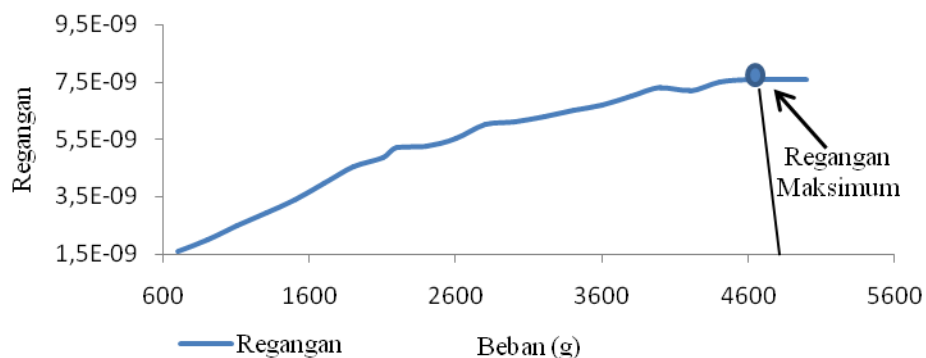
$$\text{Regangan} = 0,006 \times 10^{-9} (\text{Data Desimal}) + 1 \times 10^{-9} \quad (1)$$

Dari persamaan dapat dijelaskan bahwa kenaikan regangan berbanding secara *linear* dengan kenaikan keluaran data ADC mikrokontroler ATmega8535. Dari grafik didapatkan nilai koefisien *linear*nya sebesar 0,999, serta tingkat sensitifitas sensor sebesar 0,006 dan *offset* regangannya sebesar 1×10^{-9} . Nilai inilah yang akan dimasukkan ke dalam program untuk mengukur nilai regangan dalam perancangan alat ukur regangan bahan ini.

3.4 Pengujian Nilai Regangan pada Beberapa Logam

3.4.1 Pengujian Nilai Regangan pada Logam Kuningan

Pengujian logam pada logam kuningan dengan dimensi $(60,5 \times 3,2 \times 0,303) \text{ cm}^3$ kuningan. Pengukuran dapat dilihat pada Gambar 8 grafik hubungan perubahan beban yang diberikan terhadap perubahan nilai regangan.



Gambar 8 Grafik nilai regangan alat ukur terhadap perubahan beban

Pada Gambar 8 terlihat bahwa nilai regangan yang dihasilkan oleh alat ukur linear pada beban 700 g sampai dengan beban 4800 g, untuk beban diatas 4800 g nilai regangan yang dihasilkan tidak lagi sebanding dengan perubahan beban.

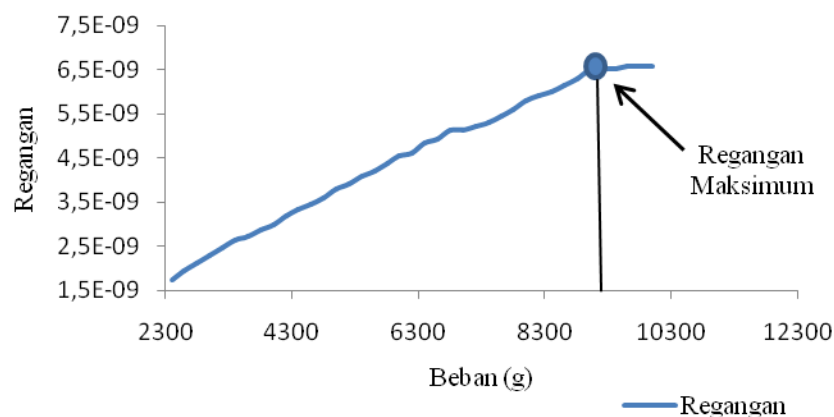
Pengujian nilai regangan yang didapatkan dari alat ukur menggunakan pembebanan yang diberikan pada logam uji. nilai regangan yang terbaca pada alat ukur dan memiliki rata-rata *error* 9,97%, nilai regangan yang didapatkan memiliki kedekatan nilai yang cukup dekat antara nilai regangan yang dicari dengan perhitungan rumus dan nilai regangan yang terbaca pada alat ukur. Dilihat dari data tersebut *error* yang didapat dari setiap variasi beban juga bervariasi, hal ini disebabkan oleh penguatan yang dihasilkan juga tidak begitu stabil sehingga pembacaan data ADC pada mikrokontroler juga lari beberapa Bit.

Dari pengujian yang dilakukan terlihat bahwa alat ukur ini hanya dapat digunakan pada beban dengan massa mulai dari 700 g karena pada saat pengujian sensor dan penguatan yang dilakukan didapatkan ketika beban yang diberikan pada logam uji di bawah masa 700 g maka tegangan keluaran masih negatif, sehingga tegangan negatif yang dihasilkan penguat akan dibaca nol pada ADC mikrokontroler.

Pengujian yang telah dilakukan juga dapat terlihat bahwa nilai maksimum yang dapat diterima oleh logam kuningan adalah 4800 g, untuk beban yang di atas 4800 g nilai regangan yang dihasilkan oleh alat ukur tidak lagi linear atau tidak lagi mengalami perubahan. Hasil tersebut juga dapat disimpulkan bahwa logam kuningan akan bersifat plastis ketika diberikan beban di atas 4800 g dengan metode pelenturan ujung.

3.4.2 Pengujian Nilai Regangan pada Logam Besi

Pengujian pada logam besi dengan dimensi $(64 \times 4,46 \times 0,357) \text{ cm}^3$ dilakukan dengan logam yang dipasang erat pada meja dengan penyangga sehingga pada saat benda uji diberi pembebanan akan terjadi kelenturan pada benda uji. Pengujian menggunakan logam besi dapat dilihat pada Gambar 9 yaitu pengujian dengan variasi beban terhadap nilai regangan yang dihasilkan oleh alat ukur.



Gambar 9 Grafik nilai regangan alat ukur terhadap perubahan beban

Pada Gambar 9 terlihat bahwa nilai regangan yang didapatkan oleh alat ukur akan sebanding nilainya pada beban di bawah 9800 g, untuk beban di atas 9800 g nilai regangan tidak lagi sebanding dengan perubahan beban. Pada grafik terlihat bahwa untuk beban di atas 1000 g grafik tidak lagi naik melainkan datar yang menunjukkan tidak ada lagi perubahan nilai regangan pada logam besi tersebut.

Nilai regangan yang terbaca pada alat ukur memiliki rata-rata *error* 4,43%, nilai regangan yang didapatkan memiliki kedekatan nilai yang cukup dekat antara nilai regangan yang dicari dengan perhitungan rumus dan nilai regangan yang terbaca pada alat ukur. Dilihat dari data tersebut *error* yang didapat dari setiap variasi beban juga bervariasi, hal ini disebabkan oleh penguatan yang dihasilkan juga tidak begitu stabil sehingga pembacaan data ADC pada mikrokontroler juga lari beberapa bit. Dari data yang didapatkan terlihat bahwa beban minimum yang dapat diterima logam besi atau nilai regangan minimum pada beban 2400 g dan nilai regangan maksimum pada beban 10 Kg untuk beban di atas 10 Kg regangan yang dihasilkan oleh alat ukur tidak lagi linear atau logam besi telah berada pada daerah plastisnya.

Pengukuran yang dilakukan pada logam besi terlihat bahwa beban yang diberikan cukup besar, hal ini berpengaruh terhadap tegangan keluaran yang didapatkan, dibandingkan dengan logam kuningan terlihat bahwa logam besi memiliki batas minimum beban yang besar untuk dapat melihat nilai regangan karena tegangan keluaran yang dihasilkan pada kedua logam ini juga memiliki perbedaan yang jauh yaitu 0,3 mV. Logam kuningan memiliki selisih 0,4 mV setiap pertambahan 100 g beban sedangkan logam besi memiliki perubahan tegangan 0,1 mV setiap pertambahan 100 g beban sehingga untuk menyesuaikan dengan logam yang lain maka

diuji dengan variasi beban yang sembarang sehingga pada LCD akan terlihat data ADC dan nilai regangan yang dihasilkan terhadap pembebanan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data pada rancang bangun alat ukur regangan menggunakan sensor *strain gauge* berbasis mikrokontroler ATmega8535 dapat ditarik kesimpulan bahwa Hasil rancangan dalam penelitian ini dapat digunakan dan membutuhkan hanya dua sensor *strain gauge* yang dirangkai secara *dummy* dimana salah satu sensor tersebut merupakan sensor aktif yang akan mengindera regangan yang terjadi pada logam dan yang satu lagi merupakan sensor yang berfungsi sebagai kompensasi temperatur atau penyeimbang temperatur yang terjadi pada sensor aktif. Perancangan program mikrokontroler menggunakan bahasa pemrograman *Bascom* dengan persamaan konversi regangan sebesar $0,006 \times 10^{-9}$ (Data Desimal) + 1×10^{-9} persamaan ini akan digunakan untuk menentukan nilai regangan logam uji.

Alat ukur yang telah dibuat dapat digunakan untuk berbagai macam logam dengan rata-rata *error* pada logam kuningan sebesar 9,97% dan *range* beban (700 – 5000) g, logam besi sebesar 4,43% dan *range* beban (2400 – 10000) g. Alat ukur regangan logam ini dapat mengukur regangan logam dengan skala beban di atas 2,4 kg untuk besi dan 700 g dengan kuningan karena di bawah itu keluaran tegangan sensor yang negatif sehingga ADC tidak mampu membaca nilai tegangan negatif dan tidak dapat mengukur titik patah material.

DAFTAR PUSTAKA

- Dieter, G. E., 1988, Mechanical Metalurgy SI Metric Edition, London.
- Djoko, Y.S., 2010, Analisis Tegangan Eksperimental Pada Balok Baja WF 150x75x5x7 Dengan Menggunakan Strain Gauge, Skripsi, Teknik Sipil, Bandung
- Fahrizal, 2005, Rancang Bangun Alat Ukur Densitas Zat Cair Berbasis PC Dengan Menggunakan Sensor Strain Gauge, *Skripsi*, Universitas Andalas, Padang.
- Fradden, J., 2003, Handbook of Modern Sensor, Physics Designs and Applications, Edisi 3, San Diego, California
- Halliday, D, Resnick, R., Walker, J., 1997, *Fundamentals of Physics*, John Wiley and Sons, Kanada
- Ramang, M., 2010, Penggunaan Strain Gauge untuk Analisa Tegangan pada Pembebanan Statik Batang Aluminium, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Palu
- Suri, R.B., 2003, Studi Pembuatan Alat Ukur Berat Tetes Zat Cair Berbasis PC Dengan Sensor Strain Gauge, *Skripsi*, Universitas Andalas, Padang.