

## Sistem Akuisisi Data Mesin Uji Puntir Berbasis Arduino Uno dan Microsoft Visual C#

Faizal Kurniawan\*, Fajar Anggara\*\*

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jalan Raya Meruya Selatan No. 01, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Jakarta, Indonesia.

\*E-mail: kurniawanfaizal04@gmail.com, \*\*E-mail: fjranggara91@gmail.com

### Abstract

*Mechanical testing of materials in steel is needed in the industry to find out the specifications and properties of the steel used. One test to determine the mechanical properties and characteristics of the material is by using the torsion testing method. In order to get accurate and precision torsion testing data, a data acquisition system is needed to record the data. In this research, the data acquisition system is created using software that can display realtime graphs of shear stress, shear strain, torque, and torsional angles. Input from this data acquisition system uses a load cell sensor and a rotary encoder that will record the weight and angle of rotation. The sensor will be calibrated to determine the precision value of its use. The data obtained by the sensor is then processed using the Arduino Uno R3 microcontroller and processed in Microsoft Visual C # to display the data, the output data of software will be save as in \*.csv and \*.png formats. Calibration test results show that the twisting test data acquisition system has an accuracy of rotary encoder reading of  $0.15^\circ$  with the equation function  $y = 0.15x$  and the accuracy of the load cell reading of 0.002 kg or 2 g, with the equation function  $y = 10.426x - 0.0011$  with a confidence level of 99.97%. Torsion testing on specimen with this software was carried out on ST37 material with the same dimensions and the specimens tested amounted to 3 pcs, resulting in a stable trend graph data.*

**Keywords:** torsion test; data acquisition system; Arduino Uno R; load cell; rotary encoder

### Abstrak

Pengujian mekanik material pada baja sangat dibutuhkan di industri untuk mengetahui spesifikasi dan sifat dari baja yang digunakan. Salah satu pengujian untuk mengetahui sifat mekanik dan karakteristik dari material yaitu dengan menggunakan metode pengujian puntir. Supaya mendapatkan data pengujian puntir yang akurat dan presisi maka diperlukan suatu sistem akuisisi data untuk merekam dan mencatat datanya. Dalam penelitian ini, sistem akuisisi data dibuat menggunakan perangkat lunak yang dapat menampilkan secara *realtime* grafik data tegangan geser, regangan geser, torsi, serta sudut puntirnya. Masukan dari sistem akuisisi data ini menggunakan sensor *load cell* dan *rotary encoder* yang akan mencatat berat dan sudut putarnya. Sensor tersebut akan dikalibrasi untuk mengetahui nilai kepresisian dari penggunaannya. Data yang didapat oleh sensor selanjutnya diproses dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3 dan diolah pada Microsoft Visual C# untuk ditampilkan datanya, *output* data pada perangkat lunak disimpan dengan format \*.csv dan \*.png. Hasil pengujian kalibrasi menunjukan bahwa sistem akuisisi data uji puntir ini memiliki ketelitian pembacaan *rotary encoder* sebesar  $0,15^\circ$  dengan fungsi persamaan  $y = 0,15x$  dan ketelitian pembacaan *load cell* sebesar 0,002 kg atau 2 g, dengan fungsi persamaan  $y = 10,426x - 0,0011$  dengan tingkat keyakinan 99,97%. Pengujian puntir spesimen dengan perangkat lunak ini dilakukan pada material ST37 dengan dimensi yang sama dan spesimen yang diuji berjumlah 3 pcs menghasilkan *trendline* grafik data yang stabil.

**Kata kunci:** pengujian puntir; sistem akuisisi data; Arduino Uno R3; *load cell*; *rotary encoder*

### 1. Pendahuluan

Pengujian mekanik memainkan peran penting dalam menemukan sifat-sifat dasar material baja, dan dapat digunakan untuk menemukan material baru, maka dari itu penting untuk mengetahui kekuatan dan kekakuan suatu material dalam menahan beban. Jumlah eksperimen telah banyak dilakukan oleh para insinyur untuk menguji suatu material baja, material tersebut diantaranya mengalami beban tarik, tekan, bengkok dan puntir [1].

Salah satu pengujian yang dapat dilakukan yaitu pengujian puntir. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan puntir dari material yang bersangkutan. Beberapa data yang didapatkan dari pengujian ini adalah tegangan geser, modulus elastis, momen puntir, dll [2]. Pengujian ini dapat dilakukan pada poros roda, poros silinder, balok, dll. Pengujian puntir paling sering digunakan pada poros silinder dengan memberi torsi pada sumbu longitudinal. Kurva tegangan geser versus regangan geser dapat ditentukan dari simultan pengukuran torsi dan sudut puntir selama pengujian [3].

Mesin uji puntir membutuhkan suatu sistem akuisisi data untuk mendapatkan hasil pembacaan data yang akurat. Sistem akuisisi data dapat didefinisikan sebagai suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data hingga memprosesnya untuk menghasilkan data yang dikehendaki. Jenis serta metode yang dipilih pada umumnya bertujuan untuk menyederhanakan setiap langkah yang dilaksanakan pada keseluruhan proses [4].

Pengaplikasian sistem akuisisi data dapat dikendalikan oleh program perangkat lunak yang menggunakan berbagai bahasa pemrograman seperti C, C#, Visual Basic, Fortran, Java, Lisp, dan LabVIEW. Penggunaan program tersebut dapat berguna untuk memudahkan dalam mengolah dan menampilkan data [5]. Sistem akuisisi data membutuhkan piranti-piranti sensor untuk mengkonversi variable-variabel fisik menjadi variable tegangan listrik [6]. Sensor yang digunakan dalam sistem akuisisi data penelitian ini yaitu *rotary encoder* untuk mencatat sudut puntir dan *load cell* untuk mencatat gaya yang selanjutnya dirubah menjadi nilai torsi.

*Rotary encoder* merupakan alat pengukur sudut yang digunakan dalam banyak aplikasi di industri seperti mengukur kecepatan dan posisi sudut motor atau untuk mendeteksi sudut setir suatu kendaraan. Sinyal dari *rotary encoder* berupa sinyal digital sehingga pembacaan dapat sangat akurat [7]. *Encoder* ini perlu dilakukan kalibrasi untuk mengetahui tingkat ketelitian pembacaannya dan keakuratannya.

*Load Cell* merupakan alat yang telah lama digunakan untuk mengukur gaya dan torsi, sensor *load cell* sangat akurat dan dapat diandalkan ketika dirancang dan diterapkan dengan benar. Pada *load cell* terdapat elemen foil tipis yang disebut dengan *strain gauge*. *Strain gauge* tersebut yang berfungsi sebagai resistansi bila terjadi deformasi pada *load cell*. semakin besar deformasi maka semakin besar hambatannya, dengan perbedaan hambatan tersebut maka tegangan yang keluar akan berubah-ubah, sehingga tegangan tersebut dapat dikonversikan menjadi sebuah nilai gaya [8].

Hubungan antara torsi ( $T$ ) dan sudut puntir ( $\theta$ ) dari silinder pejal dapat dirumuskan [9].

$$\frac{T}{\theta} = \frac{GJ}{L} \quad (1)$$

$$T = F \times r \quad (2)$$

Dimana  $G$  adalah modulus geser dari material,  $J$  adalah momen inersia polar. Tegangan geser maksimum ( $\tau_{max}$ ) yang terjadi pada permukaan luar dapat dihitung.

$$\tau_{max} = \frac{Tr}{J} \quad (3)$$

Dimana,

$$J = \frac{\pi D^4}{32} \quad (4)$$

Regangan geser ( $\gamma$ ) pada pengujian torsi dapat dihitung dengan persamaan berikut [10].

$$\gamma = \frac{\theta r}{L} \quad (5)$$

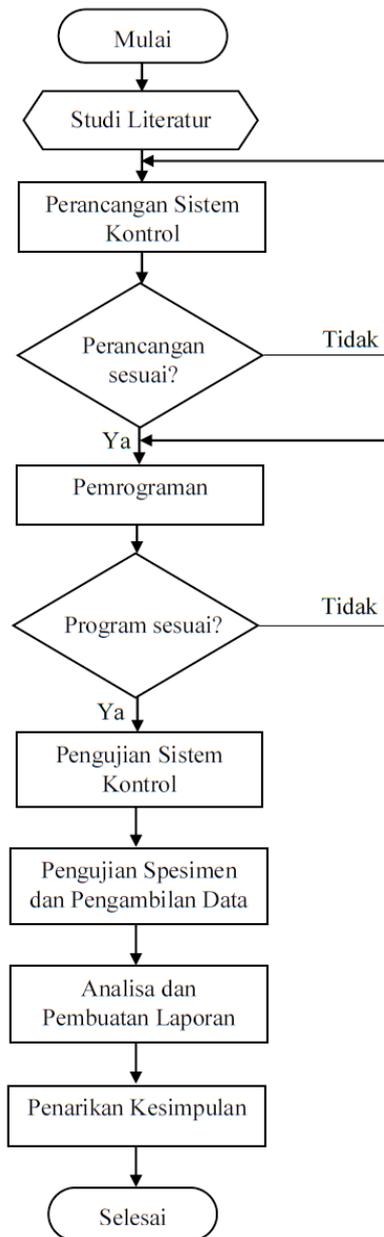
Dimana:

- $T$  = torsi (N/m)
- $\theta$  = sudut puntir (rad)
- $L$  = panjang specimen (m)
- $F$  = gaya (N)
- $r$  = jari-jari silinder (m)
- $D$  = diameter silinder (m)
- $\tau_{max}$  = tegangan geser maksimum (Pa)
- $\gamma$  = regangan geser (rad)

Tujuan dari penelitian ini yaitu menghasilkan piranti sistem akuisisi data untuk mesin uji puntir yang dapat menampilkan data secara *realtime* dan akurat, sehingga dapat bermanfaat bagi industri guna meningkatkan kualitas suatu material, serta dapat juga digunakan sebagai media pembelajaran bagi mahasiswa.

## 2. Material dan metode penelitian

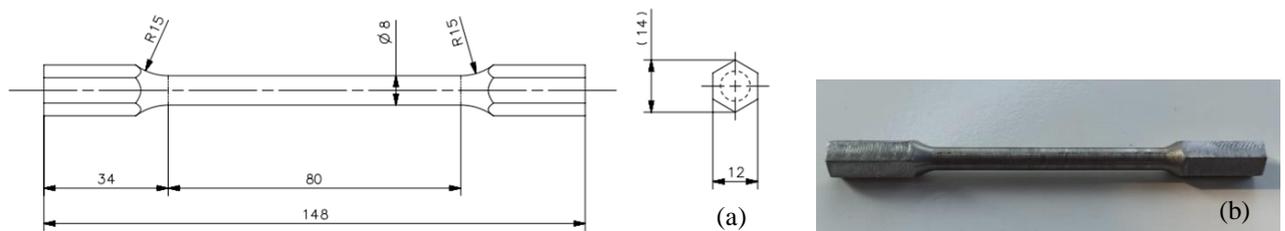
Metode penelitian dalam penelitian ini menggunakan diagram alir pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## 2.1 Alat dan Bahan

Bahan spesimen yang digunakan dalam uji puntir ini untuk mengetahui kestabilan dari pembacaan data yaitu material ST37. Ukuran spesimen berdasarkan standar ASTM E-143 dapat dilihat pada gambar 2a.



Gambar 2. Dimensi spesimen (a) dan spesimen uji puntir (b)

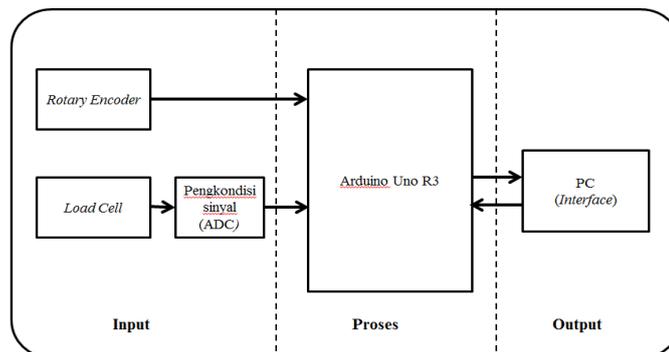
Gambar 2b merupakan spesimen yang telah dibuat dengan jumlah 3 batang untuk dilakukan pengujian puntir. Kerangka mesin uji puntir tanpa sensor juga dibutuhkan untuk berlangsungnya pengujian dan penelitian ini.

Alat dan spesifikasi yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Alat untuk sistem akuisisi data

No	Alat	Spesifikasi dan keterangan
1	Personal Computer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asus X450JN</li> <li>Intel(R) Core(TM) i7-4710HQ CPU @ 2.50GHz (8 CPUs), ~2.5GHz, RAM 8 GB</li> </ul>
2	Arduino Uno R3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Terdapat pin 5V dan Gnd untuk menyuplai tegangan ke komponen lain</li> <li>14 pin digital, 5 pin analog</li> </ul>
3	Load Cell	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegangan kerja 5V sampai 12 V</li> <li>Tipe S dengan Kapasitas 500 kg</li> <li>Ukuran 76,2 mm x 50,8 mm x 25,4 mm</li> </ul>
4	Rotary Encoder Incremental	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegangan kerja 5V sampai 24 V</li> <li>Diameter shaft 6 mm</li> <li>resolusi 600 pulsa / putaran</li> </ul>
5	Amplifier HX711	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegangan kerja 5V</li> <li>Akurasi 24-bit ADC</li> </ul>
6	Power Supply	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegangan kerja 9,6V</li> <li>Arus 1,5 A</li> </ul>
7	Kabel Jumper	<ul style="list-style-type: none"> <li>Memiliki panjang 200 mm</li> <li>Sebagai penyambung tegangan antar komponen</li> </ul>
8	Multimeter	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pembacaan secara digital</li> <li>Sebagai pengukur tegangan, arus, dan hambatan komponen</li> </ul>
9	Pemberat Kalibrasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Berat 0,5 kg, 1 kg, 1,5 kg, 2kg, dan 2,5 kg</li> </ul>

## 2.2 Konsep Sistem Akuisisi Data

**Gambar 3.** Diagram blok sistem

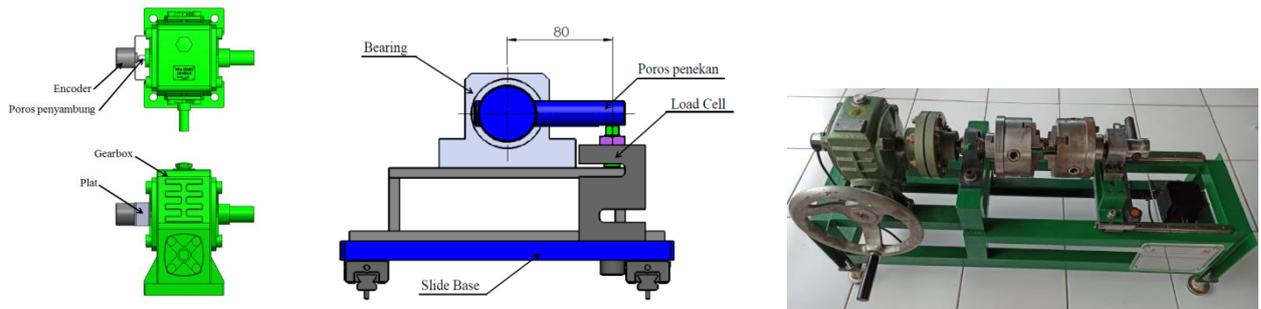
Pada gambar 3 menunjukkan diagram blok sistem akuisisi data yang dibuat, pada bagian *input* merupakan data awal yang diterima oleh sensor *rotary encoder* dan *load cell*. Sensor *rotary encoder* akan mengirim data berupa pulsa ketika melakukan putaran pada porosnya, pulsa ini berupa sinyal digital sehingga pembacaannya akan lebih akurat. Sedangkan *load cell* akan mengirimkan data berupa nilai tegangan yang dikeluarkan ketika terdapat sebuah beban, tegangan tersebut memiliki nilai yang sangat kecil sehingga untuk pengiriman data ke bagian proses diperlukan sebuah penguat dan konverter dengan menggunakan ADC (*Analog to Digital Converter*) yang akan mengkonversi sinyal analog menjadi digital dan memperkuat sinyalnya menjadi data yang lebih besar.

Blok selanjutnya yaitu bagian proses, bagian proses ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3 yang merupakan sebuah otak untuk mendapatkan nilai masukan yang didapat dari *rotary encoder* dan *load cell*. Arduino ini digunakan untuk mengolah data sensor, mengkalibrasi, dan membuat data yang lebih presisi.

Bagian *Output* atau keluaran merupakan hasil dari data yang diolah oleh arduino, keluaran yang digunakan yaitu menggunakan PC (*Personal Computer*), dimana PC akan menghitung dan mengkonversi satuan menggunakan pemrograman Microsoft Visual C# yang menghasilkan data serta grafik-grafik *realtime* dari pengujian puntir yang dilakukan. Selain keluaran berupa data dan grafik dari *software*, *output* dapat disimpan dalam format \*.csv (*Comma Separated Values*) yang dapat dibuka dengan Microsoft Excel.

## 2.3 Perancangan Sistem Kontrol

Perancangan sistem kontrol ini meliputi tata letak dari sensor yang digunakan serta rangkaian elektriknya.



(a) **Gambar 4.** Penempatan *rotary encoder* (a) dan penempatan *load cell* (b)(c)

Pada gambar 4a sensor *rotary encoder* diletakan dibelakang *gearbox* yang dihubungkan dengan poros *gearbox*, ketika poros *gearbox* berputar *rotary encoder* akan berputar mengikutinya, sehingga sudut puntir dapat dibaca melalui *rotary encoder* tersebut.

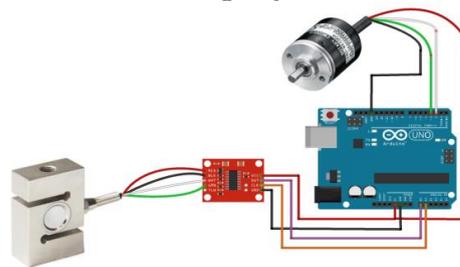
Gambar 4b menunjukkan letak dari *load cell* yang memiliki jarak 80 mm dari center poros putar, sehingga untuk mendapatkan nilai torsi maka dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$T = F \times r$$

$$T = F \times 0,08m$$

$$T = 0,08F$$

Gambar 4c merupakan kerangka alat uji puntir yang telah dipasang dengan sensor dan bagian mekanik yang lain seperti *gearbox*, cekam, kopling, bantalan, tuas dan kerangkanya.

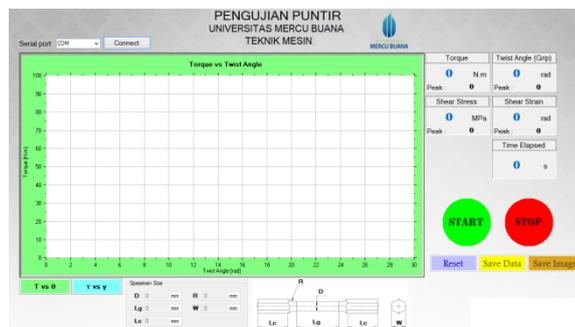


**Gambar 5.** Rangkaian sistem kontrol

Rangkaian elektrik untuk sistem kontrol ini dapat dilihat pada gambar 5, pada rangkaian tersebut arduino membutuhkan tegangan dari *power supply*.

## 2.4 Pembuatan Tampilan Muka Perangkat Lunak

Tampilan muka untuk uji puntir dibuat menggunakan *software* Microsoft Visual Studio 2015 dengan bahasa pemrograman Visual C#, tampilan muka pengujian puntir ini menampilkan data grafik tegangan geser vs regangan geser, torsi vs sudut puntir, dan nilai masing-masing parameter tersebut secara *realtime*. Nilai tersebut didapat berdasarkan perhitungan komputer yang telah terprogram dengan persamaan (2), (3), (4), dan (5). Aplikasi yang dibuat ini membutuhkan masukan parameter dari dimensi spesimen yang diisi pada kolom di bawahnya. Terdapat tombol mulai, berhenti, *reset*, dan simpan untuk menjalankannya, serta terdapat waktu yang mencatat lama pengujian puntir dilakukan.

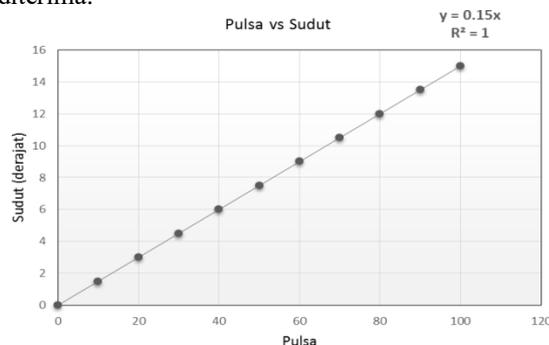


**Gambar 6.** Tampilan perangkat lunak

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pengujian Sensor *Rotary Encoder*

*Rotary encoder* ini memiliki 2 keluaran sinyal A dan B, dengan adanya keluaran 2 sinyal tersebut maka resolusi dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan peluang kemungkinan sinyal 1 dan 0 yang keluar dari data A dan B. Resolusi dapat ditingkatkan hingga 4x dari nilai spesifikasi, sehingga pulsa yang didapat dari pembacaan dapat mencapai 2400 pulsa dalam satu putaran. Setelah mengetahui resolusi dari *rotary encoder* maka dapat menentukan ketelitian sudut putar dari *rotary encoder* tersebut, Ketelitian =  $360^\circ / 2400 = 0,15^\circ$ . Berdasarkan perhitungan didapat ketelitian sudut putar  $0,15^\circ$  dari setiap pulsa yang diterima.

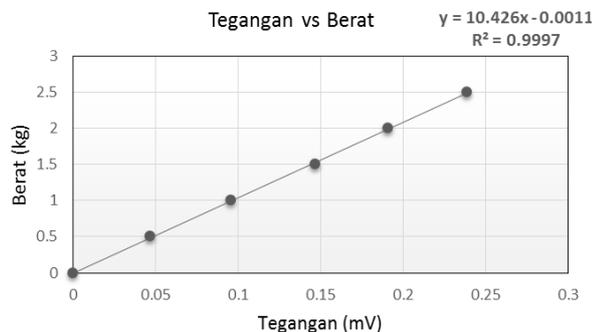


Gambar 7. Grafik pengujian *rotary encoder*

Pada grafik gambar 7 menunjukkan nilai  $R^2 = 1$  yang artinya grafik tersebut menyatakan bahwa pulsa yang keluar dari *rotary encoder* berbanding lurus dengan penambahan sudut putarnya. Koefisien determinasi tersebut bisa bernilai 1 karena keluaran dari *encoder* berupa sinyal digital sehingga dapat dibaca secara pasti. Pada grafik juga terdapat fungsi  $y = 0,15x$  yang artinya dalam setiap satu pulsa *encoder* menghasilkan perubahan sudut sebesar  $0,15^\circ$ , nilai tersebut sesuai dengan perhitungan ketelitian dari *encoder*, sehingga program yang digunakan sudah sesuai dengan perhitungan manual. Program yang digunakan tidak membatasi penambahan sudut putaran dari *encoder*, sehingga *encoder* memiliki pembacaan jumlah sudut putar yang tidak terbatas.

### 3.2 Kalibrasi Sensor Load Cell

*Load cell* dikalibrasi dengan cara memberikan beban pemberat secara berurutan dari 0,5 kg sampai 2,5 kg, dan dilakukan pengukuran tegangan pada setiap pemberat yang diletakan.



Gambar 8. Grafik pengujian *load cell*

Pada grafik gambar 8 menunjukkan nilai  $R^2 = 0,9997$  yang artinya grafik tersebut menyatakan bahwa tegangan yang keluar dari *load cell* berbanding lurus dengan penambahan beratnya dengan keyakinan sebesar 99,97%. Koefisien determinasi tersebut bila mendekati nilai 1 maka tingkat keakuratannya akan semakin tinggi. Pada grafik juga terdapat fungsi  $y = 10,426x - 0,0011$ , yang artinya tegangan dan berat memiliki hubungan sesuai dengan fungsi tersebut.

Amplifier HX711 yang merupakan ADC memiliki akurasi sebesar 24-bit dan arduino memiliki keluaran tegangan sebesar 5V maka tingkat pembacaan ADC sebesar  $5/224 = 5/16777216 = 2,98023 \times 10^{-7}$  V atau  $2,98023 \times 10^{-4}$  mV. Berdasarkan perhitungan tersebut maka perubahan 1 bit pada ADC terjadi ketika perubahan tegangan sebesar  $2,98023 \times 10^{-4}$  mV, bila nilai tersebut dianggap sebagai x dan dimasukkan kedalam fungsi y maka akan mendapatkan nilai ketelitian pembacaan dari *load cell*.

$$y = 10,426x - 0,0011$$

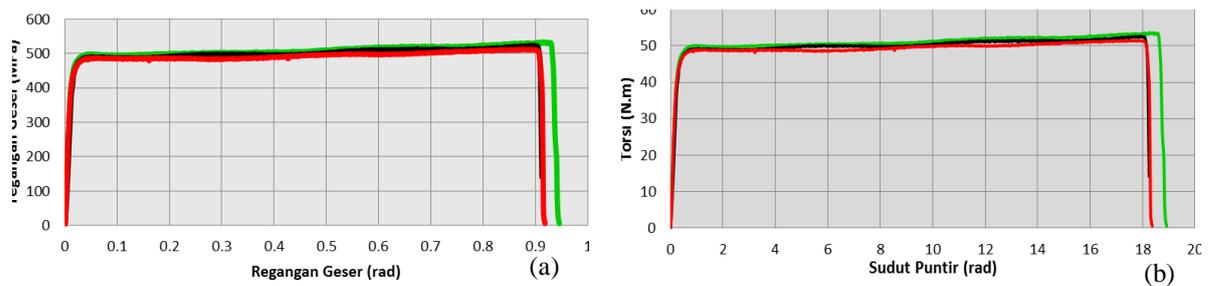
$$y = 10,426 (2,98023 \times 10^{-4}) - 0,0011$$

$$y = 0,0031 - 0,0011$$

$$y = 0,002$$

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai  $y = 0,002$  maka ketelitian dari pembacaan *load cell* adalah 0,002 kg atau 2 g. Ketelitian tersebut sudah sangat layak untuk digunakan dalam akuisisi data mesin uji puntir ini.

### 3.3 Pengujian Spesimen



**Gambar 9.** Grafik tegangan geser vs regangan geser (a) dan grafik torsi vs sudut puntir (b)

Berdasarkan hasil pengujian puntir pada 3 spesimen tersebut yang dipuntir hingga patah, grafik tegangan geser vs regangan geser dan torsi vs sudut memiliki *trendline* yang relatif sama yang artinya pembacaan data yang dikirimkan dari *load cell* dan *rotary encoder* sudah stabil.

**Tabel 2.** Hasil pengujian puntir spesimen dari perangkat lunak yang dibuat

No. Spesimen	Tegangan Geser Maksimum [Mpa]	Regangan Geser Maksimum [rad]	Torsi Maksimum [N.m]	Sudut Puntir Maksimum [rad]	Waktu [s]
Spesimen 1	534,1	0,94562	53,67	18,91240	388
Spesimen 2	524,05	0,91237	52,66	18,24743	371
Spesimen 3	512,34	0,91813	51,48	18,36262	328
Rata-Rata	523,5	0,92537	52,6	18,50748	362,3

Tabel 2 merupakan hasil nilai dari pembacaan software, dari tabel tersebut terlihat pengujian puntir dengan ukuran dan material spesimen yang sama, pembacaan data tegangan geser, regangan geser, torsi, dan sudut puntir maksimumnya memiliki perbedaan nilai yang tidak jauh antar setiap spesimennya, sedangkan untuk waktu pengujian terdapat perbedaan karena pengaruh dari kecepatan putar tuasnya antara pengujian spesimen 1, 2, dan 3.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil dan analisa pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa: pada pengambilan data sensor *rotary encoder* nilai sudut terkecil atau ketelitian yang dapat dibaca oleh arduino yaitu  $0,15^\circ$ , serta pada pengujian *load cell* didapatkan fungsi kalibrasi yaitu  $y = 10,426x - 0,0011$  dan ketelitian pembacaan dari *load cell* sebesar 0,002 kg atau 2 g. Hasil pengujian ketiga spesimen ST37 dengan dimensi yang sama, menghasilkan data grafik pembacaan yang stabil. Hasil rata-rata dari pengujian spesimen ini diperoleh data tegangan geser maksimumnya 523,5 MPa, regangan geser maksimumnya 0,92537 rad, torsi maksimumnya 52,6 N.m, sudut puntirnya 18,50748 rad, dan waktu pengujian hingga patah 362,3 detik

#### Daftar Pustaka

- [1] Patil, R. D., Gore, P. N., 2013, "Review the Effect of Specimen Geometry on Torsion Test Results", *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technology (IJIRSET)*, 2(12): 7567-7574.
- [2] Jokosiswowo, Sarjito, 2009, "Analisa Kekuatan Puntir, Lentur Putar dan Kekerasan Baja ST60 untuk Poros Propeller Setelah diQuenching", *Rotasi*, 11(2).
- [3] Bressan, J. D., Unfer, R. K., 2006, "Construction and Validation Tests of a Torsion Test Machine", *Journal of Materials Processing Technology*, 179: 23-29.
- [4] Nagara, N., Yazid, P. I., 2012, "Perangkat Lunak Sistem Akuisisi Data Menggunakan Delphi", *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, 4(1).
- [5] Jaidka, P., et al, 2014, "Precise Mass Measurement Using Data Acquisition System", *Int. J. of Sci. Eng. Technology Res. (IJSETR)*, 3(6): 1740-1743.
- [6] Nasrullah, E., Raharjo, Y., 2009, "Rancang Bangun Alat Pemantau Kualitas Udara Sekitar Berbasis Mikrokontroler AVR ATmega 8 Dengan Penampil Dot Matrix", *Electrician Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 3:1-9.
- [7] Chen, Yi-Chen, et al, 2018, "High-Precision Digital Rotary Encoder Based on Dot-Matrix Gratings", *IEEE Photonics Journal*, 10(2).
- [8] Muller, Ivan, et al, 2010, "Load cells in force sensing analysis - Theory and a novel application", *IEEE Instrument and Measurement Magazine*, 13(1): 15-19
- [9] Khokhar, A. M., (2011), "The Evaluation of Shear Properties of Timber Beams Using Torsion Test Method", PhD Thesis, School of Engineering and the Built Environment, Edinburgh Napier University.
- [10] Yang, Z. X., et al, 2008, "Interpretation of torsional shear results for nonlinear stress-strain relationship", *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.*, 32: 1247-1266.