

# RANCANG BANGUN DINAMOMETER BERBASISKAN *STRAIN GAUGE* DENGAN BATANG SENSOR TIPE *FOUR SQUARE STALK* UNTUK PENGUKURAN GAYA POTONG MESIN BUBUT

Khairul Anwar<sup>1</sup>, Yohanes<sup>2</sup>

Laboratorium Teknologi produksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>1</sup>Khairul855@ymail.com, <sup>2</sup>Yohanes\_tmessin@yahoo.com

## Abstrack

*Dynamometer is a measurement instrument that functions to measure the cutting force on a lathe machine. The dynamometer is a measuring of tool that using of a strain gauge sensor of utilizing strain, which occur on the stalk strain as the reader, then it is converted into cutting force. The main purpose of this study is to produce a dynamometer with type four square stalks for cutting force measurement, dynamometer designed to be able to measure the axial force and tangential force. The design process consists of designing, manufacturing and calibration processes. The design step is started from material selection, dynamometer selection and dynamometer dimensional design. The dimensions from design is then drawn detail and analyzed stress. After design process is complete, then the process of making the mechanical components and electrical components dynamometer. After that, the dynamometer is assembled for calibration process. The calibration process consists of hysteresis and repeatability errors. This research revealed the hysteresis for maximum tangential force of 1 milivolt and for maximum axial force of 2 milivolt. The repeatability error was 2 milivolt for the maximum tangential force and maximum axial force of 2 milivolt. Dimension of the dynamometer of type four square stalks was a length of 185 mm and a diameter of 65 mm. The dynamometer can measure maximum force 500 N for axial and tangential force.*

**Keyword** : *Dynamometer, Cutting Force, Strain Gauge, Calibration*

## 1. Pendahuluan

Proses pembubutan merupakan salah satu proses pemesinan yang memiliki peran penting di dunia manufaktur. Pada saat proses pembubutan berlangsung, material yang terpotong akan menghasilkan gaya potong. Besarnya gaya potong dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya kecepatan pemotongan, rata-rata pemakanan, kedalaman pemakanan, kedalaman pemotongan, geometri alat potong, jenis material benda kerja dan cara pendinginan benda kerja. Pengetahuan mengenai pengaruh parameter pemotongan terhadap gaya potong digunakan untuk mengetahui tentang mekanisme pemotongan diantaranya *machinability* dari material, bentuk *chip* yang terjadi, gesekan dan panas dari alat potong. Selain itu, gaya potong merupakan pengukuran yang bisa digunakan untuk mengoptimalkan proses permesinan di mesin bubut [1].

Gaya pemotongan merupakan faktor yang perlu diperhitungkan untuk memperoleh hasil yang optimal. Gaya pemotongan yang terjadi pada pahat dan benda kerja akan mengakibatkan lenturan. Meskipun lenturan ini kecil, mungkin sudah cukup untuk menjadi penyebab kesalahan geometri produk maupun kerusakan yang dapat memperpendek umur pahat. Gaya pemotongan yang presisi bisa diperoleh dengan cara pengukuran langsung dengan menggunakan dynamometer. Dynamometer dipasang pada pahat potong, sehingga ketika proses pembubutan berlangsung, pahat yang

memotong benda kerja akan menimbulkan regangan. Regangan tersebut akan terbaca sensor *strain gauge*, kemudian hasil pengukuran dari *strain gauge* ini diperkuat menggunakan *Amplifier* (penguat sinyal) sehingga dapat dibaca dan diketahui oleh LCD (*Liquid Crystal Display*) kemudian menampilkan serta menyimpan data hasil pengukuran tersebut pada komputer (PC)[2].

Penelitian yang dilakukan Yohan [3], membuat dynamometer menggunakan *strain gauge* dengan kemampuan pengukuran gaya sebesar 1500 kN, berdasarkan dynamometer yang dibuat didapati gaya minimum yang terbaca sebesar 100 N. Penelitian yang menggunakan dynamometer sebagai alat ukur gaya pemotongan pada mesin bubut juga telah dilakukan oleh Gandung [4]. Dengan membuat dynamometer menggunakan batang aluminium berbasis *strain gauge* 120 Ohm, menyatakan bahwa dynamometer yang telah dibuat mampu mengukur gaya aksial dan gaya tangensial secara bersamaan dan dynamometernya mampu menahan beban atau gaya potong maksimal 500 N.

Alat ukur gaya potong pada mesin bubut di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Riau belum ada dan perhitungan gaya potong secara teoritis pada saat proses pembubutan berlangsung memiliki kelemahan, serta perlunya alat ukur gaya pemotongan langsung pada saat proses pembubutan berlangsung. Selain itu harga dynamometer untuk mesin bubut yang dijual dipasaran sangat mahal, Salah satu dynamometer menggunakan sensor *piezoelektrik* buatan pabrik yang ada dipasaran

merk Kistler, harganya mencapai 616 juta rupiah (PT Taharica, 2012). Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dilakukan upaya untuk membuat dinamometer yang sederhana dengan harga terjangkau.

## 2. Metode

Pada penelitian ini dinamometer didesain dan dibuat melalui tahap-tahap yaitu pemilihan jenis dinamometer, pemilihan material, perancangan dimensi dari dinamometer, analisa tegangan pada dinamometer, dan penentuan letak sensor *strain gauge* pada dinamometer. Adapun desain dan perancangan dinamometer mengikuti syarat penelitian [3]. Sebagai berikut.

- Dinamometer yang akan dibuat cukup sensitif untuk pengukuran yang presisi.
- Dinamometer yang akan dibuat cukup kaku untuk menahan kekuatan tanpa menyebabkan banyak defleksi yang dapat mempengaruhi kondisi mesin.
- Dinamometer yang akan dibuat dengan harga pembuatannya terjangkau atau murah
- Dinamometer yang akan dibuat mudah untuk dirakit.
- Dinamometer yang akan dibuat dapat ditampilkan di komputer.
- Dinamometer yang dibuat bisa dikalibrasi dengan mudah.

### 2.1 Pembuatan Dinamometer

Setelah desain dinamometer didapat maka selanjutnya proses pembuatan dinamometer. Pembuatan dinamometer terdiri dari dua bagian yaitu pembuatan komponen mekanik dan pembuatan komponen elektrik. Proses pembuatan dilakukan di Laboratorium Teknologi Produksi Teknik Mesin Universitas Riau.

### 2.2 Kalibrasi

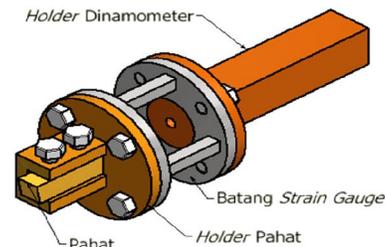
Proses kalibrasi digunakan untuk mengkonversi dari tegangan listrik ke gaya. Selain itu, dengan kalibrasi bisa ditentukan, histerisis dan *repeatability error*. Histerisis adalah perbedaan antara dua pembacaan *output* dinamometer dengan beban yang sama. *Repeatability error* adalah kemampuan alat ukur untuk menghasilkan *output* yang sama jika untuk dilakukan pengukuran yang berulang-ulang. Proses kalibrasi dinamometer menggunakan alat bantu berupa *jig* agar dinamometer bisa dikalibrasi arah tangensial dan arah aksial.

## 3. Hasil

Proses desain dilakukan sesuai dengan metode yang telah dijelaskan pada metode. Proses desain dimulai dari menentukan beberapa syarat yang diinginkan seperti pada metode. Berdasarkan syarat-syarat tersebut bisa didapat beberapa konsep desain yang akan dikembangkan seperti berikut:

### 1. Konsep 1

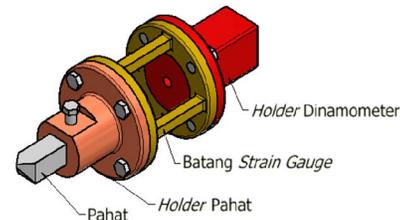
Pada konsep 1 dinamometer dengan *holder* pahat di buat berbentuk persegi 4 sebagai tempat pahat. Konsep dinamometer tipe 1 seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Konsep 1 Dinamometer Konsep 2

### 2. Konsep 2

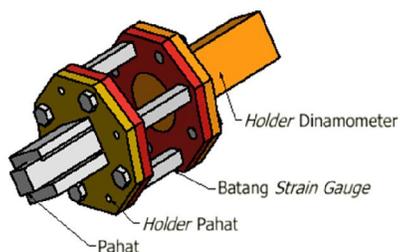
Pada konsep 2 dinamometer dengan tipe *holder* pahat dibuat persegi 4 dengan bentuk silinder. Dinamometer konsep 2 seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Dinamometer Konsep 2

### 3. Konsep 3

Pada konsep 3 dinamometer dengan tipe *holder* pahat persegi 4 dengan bentuk 8 persegi. Dinamometer konsep 3 seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Dinamometer Konsep 3

Langkah berikutnya adalah pemilihan konsep desain yang terbaik diantara 3 konsep tersebut menggunakan matrik pengambilan keputusan dengan cara memberikan nilai pada konsep-konsep seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Pemilihan Konsep Terbaik

No	Kriteria	Bobot	Konsep		
			1	2	3
1	Sensitif untuk pengukuran yang presisi	4	+	+	+
2	Kaku, mampu menahan pembebanan tanpa menyebabkan banyak defleksi	2	+	+	+
3	Harga pembuatan murah	3	+	-	-
4	Mudah dibuat dan dirakit	4	+	-	-
5	Hasil gaya pemotongan bisa ditampilkan d laptop	3	+	+	+
6	Kalibrasi mudah	4	+	+	+
Total +			6	4	4
Jumlah total -			0	2	2
Nilai akhir			20	13	13

Keterangan bobot  
 4= sangat penting  
 3= penting  
 2 = cukup penting  
 1= tidak penting

Berdasarkan Tabel 1 konsep terbaik terdapat pada konsep 1 karena mendapatkan poin yang paling tinggi di antara dengan konsep yang lainnya.

### 3.1 Penentuan Material

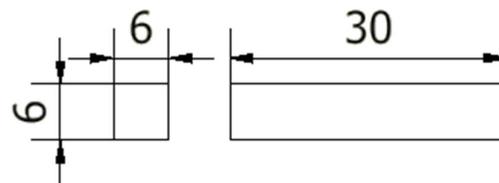
Pemilihan material adalah satu komponen yang penting dalam proses perancangan. Pemilihan material ini berdasarkan pada kebutuhan dinamometer yang akan dibuat. Dinamometer yang akan dibuat memiliki kemampuan untuk menahan beban sebesar 500 N. Karena itu dicari material yang cocok untuk menahan beban sebesar itu.

Disamping pertimbangan beban maksimum yang akan digunakan adalah material tersebut mudah didapatkan dan banyak dipasaran, dari pertimbangan-pertimbangan diatas maka material yang dipilih adalah baja AISI 4140.

### 3.2 Perancangan Dimensi Dinamometer

Perancangan dimensi dinamometer adalah dimensi dari batang yang digunakan sebagai tempat sensor. Perancangan dimensi dinamometer dengan menggunakan 4 buah batang persegi. Empat buah sensor *strain gauge* dipasang pada bagian tengah batang atau pada daerah yang besar terjadinya regangan sehingga terjadinya regangan mudah diamati. Besar gaya yang terjadi pada dinamometer tergantung pada perencanaan dari batang (*frame* dinamometer), antara lain lebar batang (b), tebal batang (h), modulus elastisitas dari material (E), dan jumlah sensor yang digunakan.

Yang perlu diperhatikan dalam perancangan ini adalah beban maksimum yang diberikan kepada 4 batang sensor tersebut tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi plastis pada material. Pada diagram tegangan regangan ,daerah linier (elastis) material pada umumnya terjadi pada tegangan yang menyebabkan regangan sebesar  $2.000 \mu\epsilon$  yakni 0,2% dari *yield* rata-rata bahan logam. Oleh sebab itu dinamometer dirancang mampu menerima regangan dari batas *yield* logam yaitu  $1.000 \mu\epsilon$  pada beban 500 N. Adapun dimensi dari desain batang sensor seperti Gambar 4.



Gambar 4 Dimensi Batang Sensor

Tegangan yang terjadi pada batang strain dapat dihitung dengan mensubstitusikan persamaan 1 [5].

$$\sigma = \frac{6Fl}{bh^2}$$

Dimana : F = Beban yang diberikan (N)  
 L= Panjang efektif (mm)  
 h = Tebal batang (mm)  
 b = Lebar batang (mm)  
 E= Modulus elastisitas material (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\epsilon$  = Regangan ( $\mu\epsilon$ )  
 $\sigma$  = Tegangan (kgf/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma = \frac{6.F.l}{b.h^2}$$

$$\sigma = \frac{6.500N.30mm^2}{6mm^2.6^2mm^2}$$

$$\sigma = 416,67N/mm^2$$

Jadi tegangan yang bekerja pada dinamometer dengan beban maksimum 500 N pada setiap 1 batang

sensor adalah sebesar 416,67 N/mm<sup>2</sup>. Sehingga dinamometer memiliki tegangan sebesar 104,168 N/mm<sup>2</sup>. Selain tegangan yang bekerja regangan yang bekerja dapat juga dihitung dengan persamaan [6]. Seperti berikut ini.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{104,168 \text{ N/mm}^2}{210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2}$$

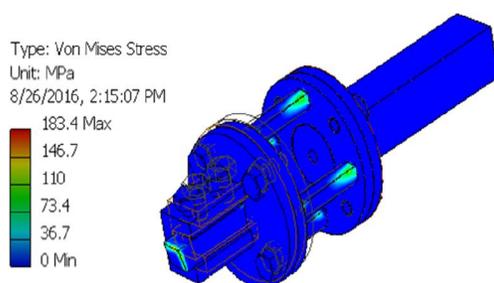
$$\varepsilon = 496,038 \mu\varepsilon$$

### 3.3 Analisa Tegangan Pada Dinamometer

Setelah ditentukan dimensi dari dinamometer, maka selanjutnya simulasi struktur dynamometer dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan dari dinamometer dan membantu mengurangi kesalahan dalam desain dinamometer. Analisa sturuktur tersebut dengan menggunakan *software Autodesk inventor 2015*. Adapun parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan kekuatan adalah sebagai berikut

- Beban yang diberikan pada dinamometer terletak di ujung pahat yaitu arah tangensial (Ft) 625 N, arah aksial (Fa) 625 N. Beban 625 N berdasarkan pada beban maksimal dinamometer sebesar 500 N dikali dengan angka keamanan 1,25.
- Tumpuan dinamometer menggunakan tumpuan jepit yang terletak pada holder dinamometer.
- Bahan dinamometer yang digunakan sesuai dengan pemilihan material.

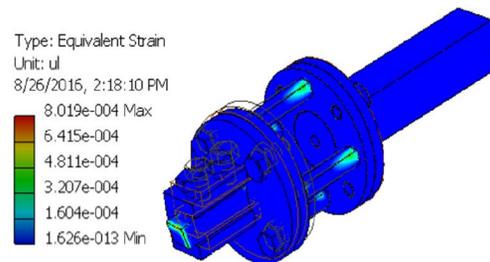
Adapun hasil dari tegangan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil Simulasi *Von Mises Stress*

Gambar 4 menjelaskan tentang tegangan yang terjadi pada saat pembebanan daerah yang paling kritis pada batang sensor *strain gauge* berwarna hijau dengan tegangan sebesar 110 MPa. Sedangkan *yield strength* untuk material dinamometer yaitu baja AISI 4140 sebesar 415 MPa. Sehingga dinamometer masih mengalami deformasi elastis

karena tegangan yang terjadi lebih kecil dari *yield strength*. Selanjutnya hasil dari regangan yang terjadi pada dinamometer seperti pada Gambar 5.

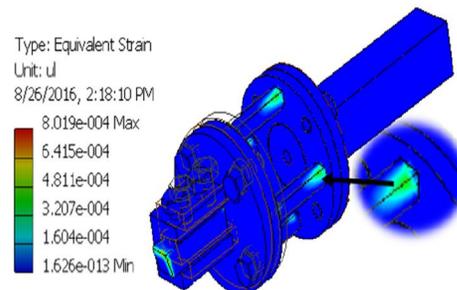


Gambar 5 Hasil Simulasi Regangan

Gambar 5 menjelaskan tentang regangan yang terjadi pada saat pembebanan daerah yang paling maksimal pada batang *strain gauge* berwarna hijau dengan regangan sebesar  $4,811 \times 10^4 \varepsilon$  atau  $481,1 \mu\varepsilon$ . Sedangkan regangan untuk setiap material sebesar  $2.000 \mu\varepsilon$  dan dinamometer di desain mampu menerima regangan sebesar  $1.000 \mu\varepsilon$ . Sehingga dinamometer masih mengalami regangan masih didalam jangkauan karena regangan yang terjadi lebih kecil dari regangan yang didesain.

### 3.4 Penentuan Letak *Strain Gauge*

Penempatan *strain gauge* berada pada daerah yang memiliki regangan yang terbesar pada dinamometer pada proses simulasi menggunakan *software autodesk inventor 2015*. Letak *strain gauge* seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Letak *Strain Gauge*

### 3.5 Pembuatan Komponen Dinamometer

Pembuatan dinamometer terdiri dari dua bagian yaitu pembuatan komponen mekanik dan pembuatan komponen elektrik.

- Komponen Mekanik Dinamometer

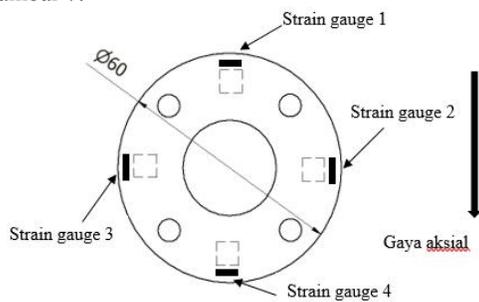
Komponen mekanik dinamometer terdiri dari *holder* dinamometer, batang sensor, *holder* pahat.

b. Komponen Elektrik Dinamometer

Dinamometer membutuhkan beberapa rangkaian elektrik agar gaya potong yang dihasilkan saat proses pembubutan bisa ditampilkan di PC. Komponen elektrik dinamometer terdiri dari *strain gauge*, jembatan *wheatstone*, modul Hx711, Arduino Uno, untuk menampilkan hasil *output* menggunakan *software visual basic 6.0*.

c. Pemasangan *Strain Gauge*

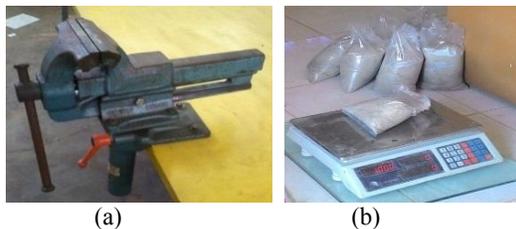
Dinamometer didesain memiliki 1 jembatan *wheatstone* yang gunanya untuk mengukur gaya pemotongan. Pemasangan *strain gauge* seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Pemasangan *Strain Gauge*

3.6 Kalibrasi

Pada proses kalibrasi dinamometer memerlukan peralatan yaitu ragum dan beban massa. Ragum digunakan sebagai tempat dinamometer, sedangkan beban massa yang digunakan pasir, dengan berat dari 0 kg - 6 kg.



Gambar 8 Alat Kalibrasi (a) Ragum (b) Beban Massa

a. Posisi Dinamometer Pada Saat Kalibrasi

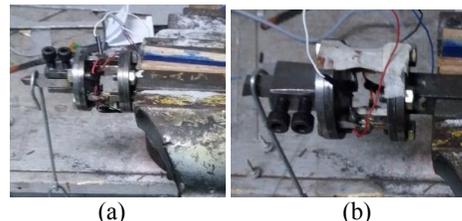
Posisi dinamometer pada saat kalibrasi yaitu dinamometer dijepit pada ragum hingga tidak bisa bergerak ketika di berikan pembebanan kemudian dihubungkan ke mikrokontroler kemudian dihubungkan ke PC. Posisi dinamometer pada saat kalibrasi seperti Gambar 9.



Gambar 9 Posisi Dinamometer Saat Kalibrasi

b. Pembebanan Kalibrasi

Pembebanan kalibrasi terdiri dari pembebanan arah aksial dan tangensial. Pembebanan arah aksial merupakan pembebanan yang diberikan pada dinamometer pada arah gaya gerak makan. Pembebanan arah tangensial merupakan pembebanan yang diberikan pada dinamometer pada arah gaya kecepatan potong. Adapun pembebanan arah aksial dan tangensial seperti pada Gambar 10.

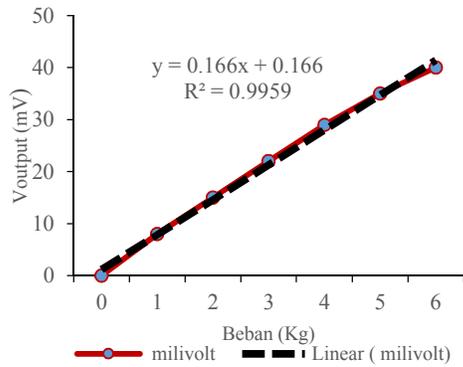


Gambar 10 Pembebanan Kalibrasi (a) Aksial (b) Tangensial

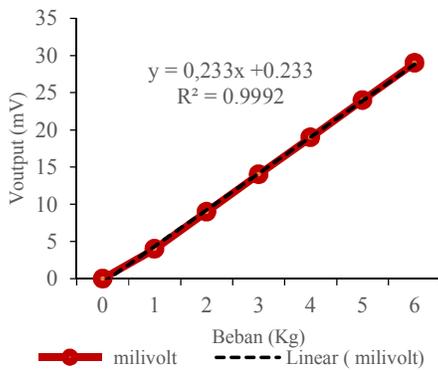
c. Hasil Kalibrasi

Kalibrasi ini digunakan untuk menganalisa hubungan antara tegangan listrik dengan gaya yang terjadi pada saat pemotongan. Hal ini sangat penting karena hasil dari *strain amplifier* akan diolah oleh PC.

Pengambilan data untuk persamaan nilai gaya aksial dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Pengujian Arah Aksial  
Pengambilan data untuk persamaan nilai gaya tangensial dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Pengujian Arah Tangensial  
Pada pembebanan gaya aksial dan tangensial, histerisis didapat dengan hasil pembacaan *output* pertama didapatkan dengan meningkatkan beban mulai dari beban nol sampai beban 6 kg. pembacaan *output* yang kedua didapat dengan mengurangi beban dari beban 6 kg sampai 0. Adapun hasil dari pembebanan histerisis pembebanan gaya aksial pada Tabel 2, gaya tangensial pada Tabel 3.

Tabel 2 Pembebanan Gaya Aksial

NO	Beban (Kg)	Beban ditambah (miliVolt)	Beban dikurang (miliVolt)	Penyimpangan (miliVolt)
1	0	0	0	0
2	1	7	8	1
3	2	15	16	1
4	3	23	23	0
5	4	30	29	1
6	5	36	34	2
7	6	41	41	1

Tabel 3 Pembebanan Arah Tangensial

NO	Beban (Kg)	Beban ditambah (miliVolt)	Beban dikurang (miliVolt)	Penyimpangan (miliVolt)
1	0	0	0	0
2	1	3	2	1
3	2	8	7	1
4	3	13	13	0
5	4	17	18	1
6	5	21	22	1
7	6	26	26	0

Dari Tabel 2 dan 3 menjelaskan histerisis gaya aksial terjadi pada beberapa beban dengan penyimpangan maksimal sebesar 2 milivolt dangaya tangensial sebesar 1 milivolt.

Pada pembebanan gaya aksial dan tangensial, *repeatability error* didapat dari melakukan pembebanan berulang-ulang. Pada kalibrasi ini dinamometer dilakukan dua kali pengulangan pembebanan. Adapun hasil dari pembebanan *repeatability error* pembebanan gaya aksial dan tangensial seperti Tabel 4 dan 5.

Tabel 4 Pembebanan *Repeatability Error* Gaya Aksial

NO	Beban (Kg)	Beban ditambah (miliVolt)	Beban dikurang (miliVolt)	Penyimpangan (miliVolt)
1	0	0	0	0
2	1	4	5	1
3	2	9	8	0
4	3	14	14	1
5	4	19	17	2
6	5	24	24	0
7	6	30	31	1

Tabel 5 Pembebanan *Repeatability Error* Gaya Tangensial

NO	Beban (Kg)	Beban ditambah (miliVolt)	Beban dikurang (miliVolt)	Penyimpangan (miliVolt)
1	0	0	0	0
2	1	4	5	1
3	2	9	8	0
4	3	14	14	1
5	4	19	17	2
6	5	24	24	0
7	6	30	31	1

Pada Tabel 4 dan 5 menjelaskan bahwa *repeatability error* dinamometer pada arah tangensial dengan penyimpangan maksimal sebesar 2 milivolt.

d. Pembuatan Program Tampilan Komputer

Program ini dibuat untuk membaca perubahan Gaya potong tiap detiknya sehingga proses pengambilan data gaya pemotongan selesai,

program yang dibuat dimasukkan kedalam Arduino dengan memasukkan persamaan linier yang didapat pada proses kalibrasi, pada program Arduino pembacaan dilakukan dengan jarak 3 detik. Setelah data hasil pembacaan Arduino kemudian diterima dan ditampilkan oleh program *visual basic* 6.0 untuk menampilkan hasil gaya pemotongan yang berlangsung. Adapun tampilan program untuk menampilkan hasil gaya pemotongan seperti Gambar 13.



Gambar 13 Tampilan Program Pengukuran

#### 4. Simpulan

Proses desain dinamometer tipe *Four Square Stalk* dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Dinamometer mampu mengukur gaya pemotongan gaya aksial dan gaya tangensial pada saat proses pembubutan.
2. Hasil perancangan dimensi dari dinamometer yaitu dengan diameter 65 mm dan panjang 185 mm. dengan *strain gauge* yang digunakan 120 Ohm, dengan maksimal gaya pemotongan sebesar 500 N.
3. Hasil kalibrasi dinamometer yaitu
  - a. Histerisis untuk gaya aksial memiliki penyimpangan maksimal 2 milivolt dan gaya tangensial maksimal 1 milivolt.
  - b. *Repeatability error* untuk gaya aksial memiliki penyimpangan maksimal sebesar 2 milivolt dan untuk gaya tangensial maksimal 2 milivolt.

#### Daftar Pustaka

- [1] Korkut, I. and Boy, M., 2008, "*Experimental Examination of Main Cutting Force and Surface Roughness Depending on Cutting Parameters*", Journal of Mechanical Engineering, Vol. 254(7-8), pp. 531-538
- [2] Hendri, Niva Dkk., 2011 "Pembuatan Dinamometer Dan Data Logger Untuk Mesin Bubut" Department Of Mechanical Engineering, Syiah Kuala University.
- [3] Yohan, 1999. "Perancangan Dan Pembuatan Dinamometer Untuk Pengukuran Gaya Dan Gaya Pemakanan Pada Mesin Bubut

Konvensional Menggunakan *Strain Gauge*". Fakultas Teknik, Universitas Surabaya.

- [4] Gandung, Sam, Dkk, 2014, "Rancang Bangun Dynamometer untuk Pengukuran Gaya Potong Mesin Bubut". Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret. volume 12 nomor 2 (94-100).
- [5] Samadikun, S., S.R. Rio, T. Mengko. 1998. "*System informasi elektronika*". Institut Teknologi Bandung
- [6] Mulyati, 2013 "Mekanika Bahan" Jurusan Teknik Sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Padang.