

PENGEMBANGAN DAN PENGUJIAN DINAMOMETER BERBASISKAN *STRAIN GAUGE* DENGAN BATANG REGANG TIPE *FOUR SQUARE STALK* UNTUK PENGUKURAN GAYA POTONG MESIN BUBUT

Geovanny Donara¹, Yohanes²

Laboratory of Production Technology, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
University of Riau Campus Bina Widya Km.12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293.

¹geo.donara@gmail.com,²yohanes_tmecin@yahoo.com

Abstract

Dynamometer is an instrumentation that function for measure the cutting force on the lathe machine. The dynamometer principle use a strain gauge that is to utilize the strain that occurs on the strain bar as a reader in Voltage units then converted into force units in Newton. The strain on the strain bar is read by strain gauge,, then amplified using amplifier (signal amplifier) so it can be read and displayed on the LCD (Liquid Crystal Display) and storing data measurement results on the computer (PC) using Data Logger. Research that has been done before there are still some weaknesses which need to be developed in this research. To get the measurement result of the dynamometer, development begins with changes in the dimension of the strain bar and changing the type of material on the part of the dynamometer which experienced strain and modifications are made to the electrical circuit of the dynamometer. Then do the process of finding correlation between Depth of Cut with Cutting force. The purpose of finding correlations between these two variables is to get correlation factor which will be incorporated into the arduino program. Methods in finding correlation factor used is by giving a disruption of loading, the loading is given through a two-way force that is tangential direction loading and axial direction loading.

Keywords : *Cutting Force, Strain Bar, Stress, Wheatstone Bridge, Correlation Factor.*

1. Pendahuluan

Gaya pemotongan merupakan faktor yang perlu diperhitungkan untuk mengetahui kemampuan pemesinan (*Machinability*). Pada saat proses pembubutan berlangsung, material yang dipotong akan menghasilkan gaya potong. Besarnya gaya potong dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya kecepatan pemotongan, kecepatan pemakanan, kedalaman pemotongan, geometri alat potong, jenis material benda kerja dan cara pendinginan benda kerja. Gaya pemotongan yang kurang tepat akan berdampak buruk pada mesin bubut, proses dan hasil pembubutan.

Dampak gaya pemotongan yang kurang tepat terhadap mesin bubut yaitu berdampak pada kemampuan mesin bubut untuk beroperasi akan kurang optimal. Dampak terhadap proses dan hasil pembubutan yaitu membuat pahat bubut cepat aus atau merusak geometri pahat dan memperpendek umur pahat serta membuat *machinability* dari material berkurang sehingga hasil pembubutan kurang halus.

Untuk melengkapi alat ukur guna pengukuran gaya pemotongan pada proses pembubutan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Riau dan masih terdapat kelemahan dalam perhitungan gaya pemotongan secara teoritis pada saat proses pembubutan berlangsung, maka diperlukan alat ukur gaya pemotongan pada saat proses pembubutan yang disebut dinamometer. Harga

dinamometer untuk mesin bubut yang dijual dipasaran sangat mahal. Salah satu dinamometer yang ada menggunakan sensor piezoelektrik buatan pabrik yang ada dipasaran merk Kistler, harganya mencapai 616 juta rupiah (PT Taharica, 2012). Berdasarkan permasalahan tersebut maka diperlukan upaya untuk membuat dinamometer yang sederhana dengan harga terjangkau.

Berdasarkan teori yang dimuat dalam buku [1] Gaya pemotongan mesin bubut dapat diketahui dengan cara pengukuran langsung dengan menggunakan dinamometer. Penelitian ini sudah pernah dilakukan, Penelitian tersebut membuat alat ukur gaya pemotongan di mana untuk semua 4 sensor *strain gauge* menggunakan satu jembatan *wheatstone*. Jenis beban yang digunakan pada pahat yaitu menggunakan beban pasir yang ditimbang sesuai dengan ukuran berat yang akan digunakan yang juga akan berpengaruh pada hasil mencari korelasi antara *Depth of cut* dan Gaya Pemotongan pada alat ukur.

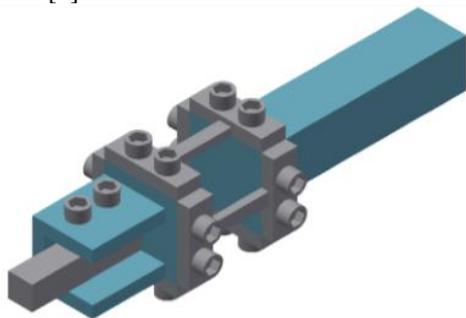
Berdasarkan dinamometer yang dibuat, batang sensor tersebut masih kaku pada saat dilakukan analisis dengan menggunakan *Autodesk Inventor* 2015 pada beban 1 N yang mengakibatkan batang sensor tersebut belum meregang. Regangan pada batang sensor harus bisa terbaca oleh sensor *strain gauge* karena nilai dari regangan tersebut akan diubah atau dikonversikan kedalam satuan gaya untuk pengukuran gaya pemotongan pada saat proses pembubutan.

Penelitian ini memodifikasi beberapa bagian dari komponen mekanik dan elektrik dinamometer. Modifikasi yang dilakukan bertujuan untuk membuat suatu hasil pengukuran gaya pemotongan dalam satuan Newton dan mendapatkan resultan gaya pemotongan pada mesin bubut.

Penelitian alat ukur dinamometer ini dilakukan beranggotakan 4 orang dalam satu tim yang memiliki bentuk batang regang yang berbeda, pada penelitian ini bentuk batang regang yang digunakan adalah *four square stalk* (empat batang persegi) merupakan lanjutan dari penelitian [2]. Bentuk batang regang lainnya adalah sebagai berikut:

a. *Four Profil-H Plate*

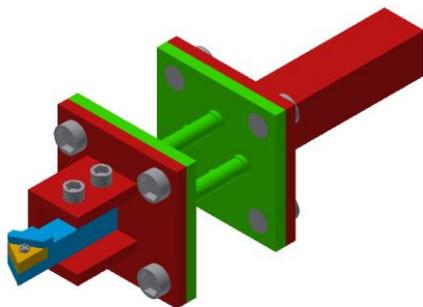
Penelitian dengan tipe batang tersebut dilakukan oleh [3]



Gambar 1 Komponen Mekanik Dinamometer

b. *Four Square Plate*

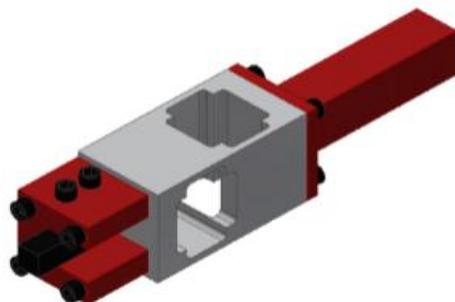
Penelitian dengan tipe batang tersebut dilakukan oleh [4]



Gambar 2 Komponen Mekanik Dinamometer

c. *Single Bar*

Penelitian dengan tipe batang tersebut dilakukan oleh [5]

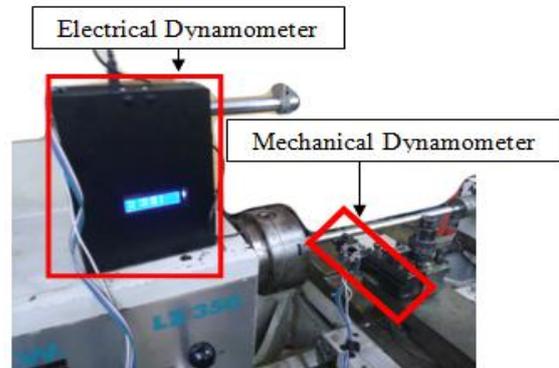


Gambar 3 Komponen Mekanik Dinamometer

2. Metodologi Penelitian

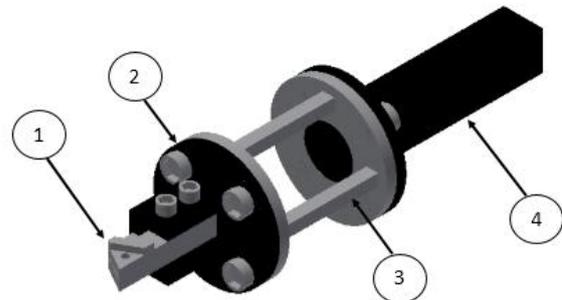
2.1 Komponen Dinamometer

Posisi dinamometer pada saat proses pembubutan berlangsung ditunjukkan pada Gambar 4 yang menyatakan letak komponen mekanik dinamometer dan komponen elektrik dinamometer.



Gambar 4 Komponen Elektrik Dinamometer

Alat ukur yang di rakit meliputi *Strain gauge*, *Strain Amplifier*, *Wheatstone Bridge*, Arduino hingga ke LCD (*Liquid Crystal Display*). Perakitan alat ukur meliputi dua bagian, yaitu perakitan komponen mekanik dan perakitan komponen elektrik. Bentuk komponen mekanik dari alat ukur dinamometer yang dipasangkan pada mesin bubut konvensional dapat dilihat pada Gambar 5:

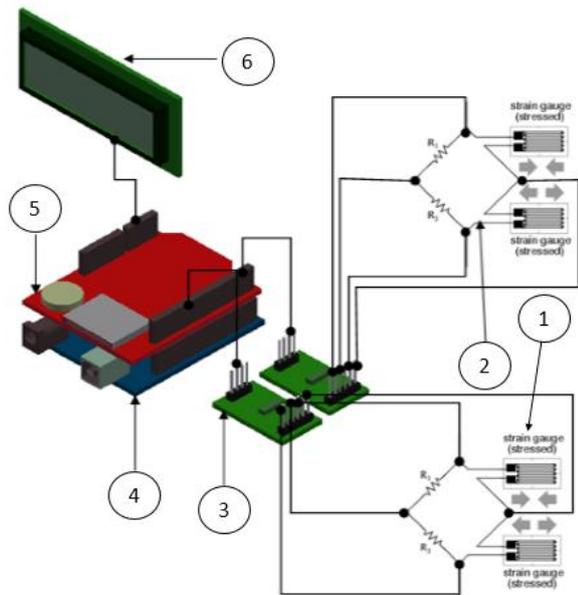


Gambar 5 Komponen Mekanik Dinamometer

Keterangan :

1. Pahat
2. *Holder* Pahat
3. Batang regang (*Strain Bar*)
4. *Holder* Dinamometer

Adapun susunan komponen-komponen elektrik beserta penamaan pada alat ukur dinamometer yang dipasangkan pada mesin bubut konvensional dapat dilihat pada Gambar 6 :



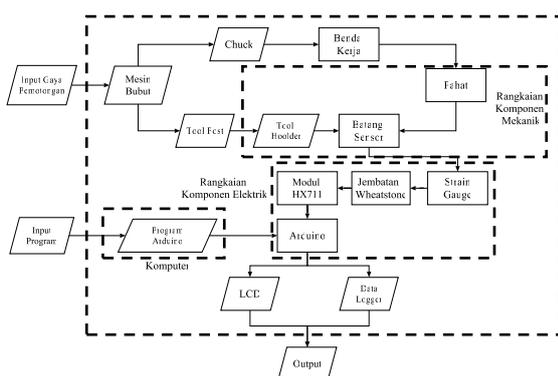
Gambar 6 Komponen Elektrik Dinamometer

Keterangan :

1. Strain Gauge
2. Wheatstone Bridge
3. HX711 (Strain Amplifier)
4. Arduino Uno
5. Data Logger
6. LCD

2.2 Diagram Alir Alat Uji

Untuk mengetahui hubungan antara komponen mekanik dan komponen elektrik dinamometer, diagram alir seperti pada Gambar 7 menjelaskan hubungan antara kedua komponen dinamometer untuk mengukur gaya pemotongan mesin bubut [6].



Gambar 7 Block Diagram Alir Alat Uji

2.3 Parameter Pengujian

Pengujian dilakukan pada mesin bubut (*Turning Machine*). Parameter pemesinan yang digunakan untuk pengujian dinamometer adalah sebagai berikut :

- a. Putaran mesin bubut yang digunakan adalah sebesar 445 rpm pada setiap pengujian.
- b. Material EMS 45 dan pahat *carbide*, dengan 3 kali pengujian yaitu dengan kecepatan makan yang berbeda.
- c. *Depth of Cut* dilakukan sebesar 0,2 ; 0,3 dan 0,4 pada setiap *feeding* 0,114 mm/rev, 0,228 mm/rev dan 0,326 mm/rev.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perencanaan Pengembangan

Pengembangan yang dilakukan memiliki tahap awal yaitu mengubah dimensi pada dinamometer. Perubahan dimensi yang dilakukan hanya pada bagian batang regang dinamometer pada komponen mekaniknya termasuk di dalamnya mengubah jenis material untuk batang regang. Sedangkan, pengembangan pada rangkaian elektriknya yaitu terdapat pada rangkaian jembatan *wheatstone*, yaitu menggunakan 2 buah jembatan *wheatstone* untuk pengukuran 2 buah gaya pemotongan yaitu gaya aksial dan gaya tangensial dan mengubah jenis bahan beban dan metode pembebanan yang diberikan pada dinamometer pada saat proses pembebanan. Perlunya digunakan 2 buah jembatan *wheatstone* merujuk pada penelitian yang sudah pernah dilakukan oleh [7], menurut penelitian tersebut untuk mengukur 2 gaya pemotongan diperlukan 2 buah jembatan *Wheatstone*. Hal ini dikarenakan dalam pengukuran satu gaya pemotongan menggunakan 2 sensor *strain gauge* dilengkapi dengan 2 resistor yang berfungsi untuk membatasi jumlah arus yang mengalir dalam suatu rangkaian sesuai dengan kebutuhan. Pemakaian resistor sangat berpengaruh untuk menjaga keamanan dalam pemakaian sensor dan komponen elektrik lainnya.

3.2 Pemilihan Material

Pemilihan material merupakan langkah pertama yang dilakukan dan merupakan salah satu cara untuk mendapatkan tujuan penelitian yaitu dengan mengubah jenis material pada batang regang dinamometer. Pemilihan material ini dilakukan berdasarkan kebutuhan dinamometer yang akan dibuat. Dinamometer yang akan dibuat harus memiliki sifat tidak terlalu kaku dan juga tidak terlalu lentur, namun selain itu material yang digunakan juga harus memenuhi kriteria tahan terhadap korosi dan mudah dilakukan proses pemesinannya.

Diperlukannya material yang tahan terhadap korosi harus dipertimbangkan karena sensor yang digunakan adalah sensor *strain gauge* yang pemasangannya langsung ditempelkan pada batang regang dinamometer. Apabila material yang dipilih tidak tahan terhadap korosi, maka sensor akan

mudah terlepas akibat dari korosi pada material. Berdasarkan pertimbangan di atas serta diperkuat dengan referensi jurnal penelitian yang pernah dilakukan, maka material yang dipilih untuk batang regang adalah material Aluminium 6061.

3.3 Perhitungan Tegangan dan Regangan Batang Regang

Dinamometer dirancang menggunakan 4 buah batang penghubung, dimana batang penghubung tersebut sebagai tempat letak *strain gauge*. Adapun dimensi dari batang sensor *strain gauge* dinamometer mempunyai Panjang 50 mm, Lebar 6 mm dan Tinggi 6 mm.

Dari ukuran batang regang dinamometer yang diketahui, dapat dicari tegangan maksimum dari bahan menggunakan substitusi Persamaan 1 dan Persamaan 2 [8].

$$\sigma = \frac{F}{A} = E \times \varepsilon \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{6 \times F \times l}{E \times b \times h^2} \quad (2)$$

Maka,

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

$$\sigma = \frac{6 \times 500 \text{ N} \times 50 \text{ mm}}{6 \text{ mm} \times (6 \text{ mm})^2}$$

$$\sigma = 694,44 \text{ N/mm}^2$$

Jadi, tegangan yang bekerja pada batang regang dinamometer dengan beban maksimum 500 N adalah sebesar 694,44 N/mm². Sehingga pada tiap batang dinamometer memiliki tegangan maksimum sebesar 173,61 N/mm². Selain tegangan yang bekerja, regangan yang terjadi juga dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 dengan modulus elastisitas (E) = 68,9 GPa.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma}{E} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{173,61 \text{ N/mm}^2}{68,9 \times 10^3 \text{ N/mm}^2}$$

$$\varepsilon = 0,002519$$

$$\varepsilon = 2519 \mu\varepsilon$$

Sehingga, regangan maksimum yang bekerja pada batang *strain gauge* adalah 0,002519 atau 2519 $\mu\varepsilon$.

Analisa dilakukan dengan menggunakan Software *Autodesk Inventor 2015*. Parameter-parameter yang digunakan dalam analisa adalah sebagai berikut:

- 1) Beban yang diberikan pada dinamometer terletak pada ujung pahat, yaitu untuk arah

pembebanan tangensial (Ft) sebesar 625 N dan arah pembebanan aksial (Fa) sebesar 625 N. Beban 625 N berdasarkan pada beban maksimal dinamometer sebesar 500 N dikali dengan angka keamanan sebesar 1,25.

- 2) Tumpuan dinamometer menggunakan tumpuan jepit yang terletak pada *holder* dinamometer.
- 3) Bahan dinamometer yang digunakan sesuai dengan bahan pada pemilihan material.

Hasil analisa dengan menggunakan *Autodesk Inventor 2015* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Analisa *Autodesk Inventor 2015*

No	Deskripsi	Hasil simulasi	
		Tangensial	Aksial
1	Von Mises Stress (MPa)	170	173
2	1 st Principle Stress (MPa)	167	171
3	<i>Displacement</i> (mm)	0,1389	0,1511
4	Safety Factor	1,65	1,78
5	Equivalent Strain	0,00240	0,00241
6	Peletakan Sensor (ε)	0,000719	0,000725

Untuk mengetahui apakah tegangan dan regangan yang terjadi pada batang regang tidak melebihi nilai *yield strength* dari *properties* material yang digunakan, maka dilakukan perbandingan perhitungan tegangan dan regangan dengan nilai *yield strength* material.

Perhitungan tegangan yang terjadi pada bagian batang regang dinamometer pada saat pembebanan pada daerah yang paling kritis yaitu 173,61 MPa. Sedangkan *yield strength* untuk material batang regang dinamometer yaitu 275,01 MPa. Sehingga dinamometer masih mengalami deformasi elastis karena tegangan yang terjadi pada batang regang lebih kecil dari tegangan *yield strength*.

3.4 Penentuan Letak Sensor

Posisi pemasangan dan penggunaan sensor *strain gauge* ditentukan dari *range* pembacaan sensor. Berdasarkan data spesifikasi *strain gauge* 120 ohm, pembacaan *strain range* minimum yaitu 0,096 mm, maksimum 0,16 mm dan *strain level* tidak boleh lebih dari 1500 $\mu\varepsilon$. Hasil analisa pada Tabel 1 menunjukkan lendutan maksimal (*Displacement*) pada batang regang yaitu 0,1389 mm (tangensial) dan 0,1511 mm (aksial) dan regangan maksimal yang terjadi pada posisi *strain gauge* di pasang tidak lebih dari *strain level*, yaitu 725 $\mu\varepsilon$ terdapat pada tengah batang regang. Artinya posisi pemasangan sensor *strain gauge* 120 ohm pada bagian tengah batang regang masih dalam batas pemakaian *strain range* dan *strain level* pada spesifikasi material yang digunakan.

3.5 Pemasangan Sensor *Strain Gauge*

Pemasangan sensor *strain gauge* harus searah dengan arah regangan yang akan terjadi. Pada pemasangan *strain gauge* perlu diperhatikan bahwa sensor *strain gauge* harus lurus antara satu dan yang lainnya. Permukaan batang regang dibersihkan dengan menggunakan alkohol seperti Gambar 8 (a), Pada saat pemasangan *strain gauge*, yang perlu diperhatikan adalah agar pada saat penempelan sensor harus menggunakan media yang tidak rekat dengan lem. Isolasi merupakan media yang tidak rekat dengan lem maka dari itu isolasi digunakan pada saat penempelan sensor pada batang regang. Peletakan sensor pada saat proses pemberian lem ditunjukkan pada Gambar 8 (b).



Gambar 8 (a) Pembersihan Batang Regang dengan Alkohol, (b) Pemberian Lem

3.6 Faktor Korelasi *Input* dan *Output* Pembebanan

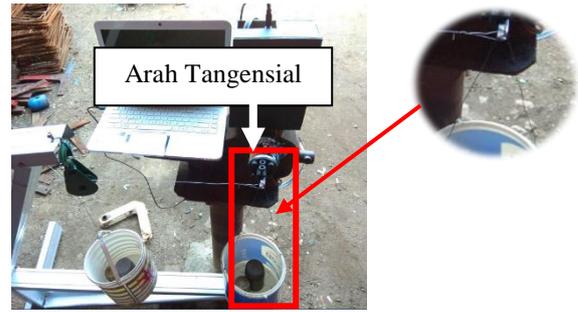
Hasil pembebanan pada dinamometer akan di *input* dalam bentuk grafik untuk mencari faktor pengkali. Data *output* dari hasil pembebanan tersebut dianalisis dengan metoda regresi linier. Metoda regresi linier merupakan suatu metoda yang dapat digunakan untuk mengetahui pola hubungan antara dua variabel. Sehingga dapat diketahui korelasi antara gaya (F) dengan *output* pembebanan. Sebagai variabel bebas adalah gaya (F) dan variabel terikat adalah *output*.

a. Posisi Dinamometer

Posisi dinamometer saat pembebanan dijepit pada ragum dan kabel *connector* dihubungkan ke mikrokontroler, kemudian pembebanan dilakukan pada kedua arah gaya aksial dan tangensial sekaligus. Adapun posisi dinamometer saat proses pembebanan ditunjukkan pada Gambar 9.

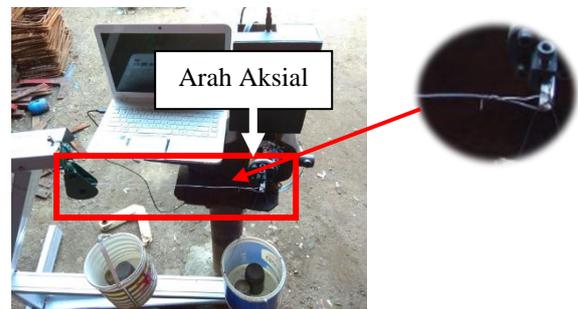
b. Arah Pembebanan

Pembebanan arah gaya tangensial merupakan pembebanan yang diberikan pada dinamometer pada arah kecepatan potong. Pembebanan arah tangensial ditunjukkan seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Pembebanan Arah Tangensial

Pembebanan arah gaya aksial merupakan pembebanan yang diberikan pada dinamometer pada arah gerak makan. Pembebanan arah aksial ditunjukkan seperti pada Gambar 10.



Gambar 10 Pembebanan Arah Aksial

c. Hasil Pembebanan

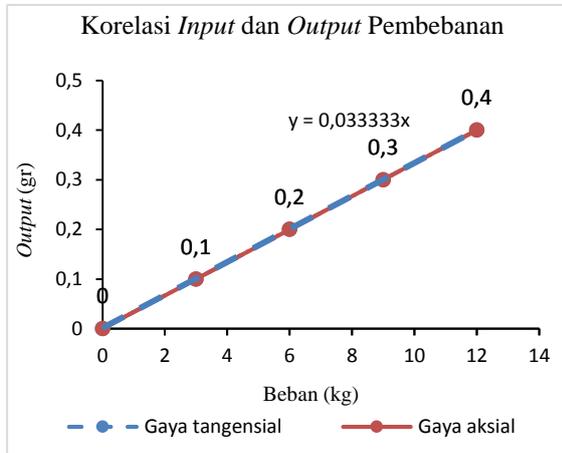
Pembebanan dilakukan untuk mencari faktor pengkali yang akan di *input* kedalam program arduino. Pada saat dinamometer diberi pembebanan, pembebanan ini akan menyebabkan terjadinya regangan pada batang regang yang kemudian akan dibaca oleh sensor *strain gauge*. Pada sensor *strain gauge* nilai pengukuran masih dalam bentuk tegangan/*voltage (output)*, maka dari itu rangkaian jembatan *wheatstone* akan mengirimkan tegangan *output* yang dikirim ke modul HX711. Karena tegangan *output* dari jembatan *wheatstone* sangat kecil dan masih dalam bentuk analog, maka modul HX711 akan menguatkan dan mengubah sinyal *output* kedalam bentuk digital dan mengirimnya ke arduino yang kemudian akan menampilkan data hasil pembebanan pada LCD.

hasil dari kedua pembebanan gaya tangensial dan gaya aksial, ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pembebanan

No	Beban		Hasil Pembebanan (gr)	
	(Kg)	(N)	Gaya tangensial	Gaya aksial
1	0	0	0	0
2	3	30	0,1	0,1
3	6	60	0,2	0,2
4	9	90	0,3	0,3
5	12	120	0,4	0,4

Untuk mengetahui hubungan antara pembebanan dan *output*, yaitu dengan cara membuat grafik hubungan pembebanan dan *output* yang nantinya akan diberikan dalam bentuk persamaan dari garis linier dengan metoda regresi linier yang ditunjukkan pada Gambar 11 .



Gambar 11 Grafik Korelasi *Input* dan *Output* Pembebanan

Dimana $y = 0.033333x$, y adalah variabel terikat atau *output* (gr) sedangkan x adalah variabel bebas atau beban (N). Maka $x = 30y$ ini adalah faktor pengali yang akan dimasukkan ke program.

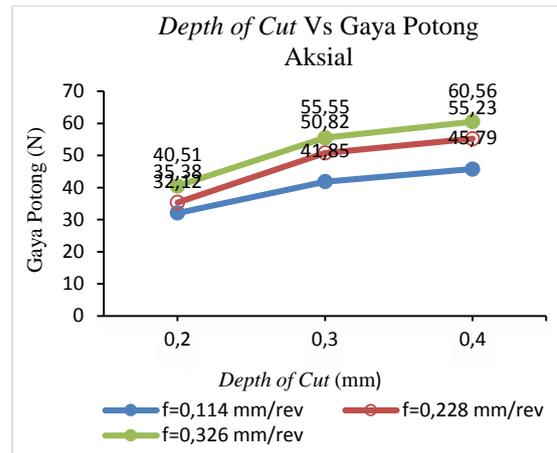
3.7 Hasil Pengujian

Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Dinamometer

No	n rpm	f mm/rev	b mm	F_f N	F_v N	R N
1	445	0,11	0,2	32,12	45,08	55,35
		0,11	0,3	41,85	190,61	195,15
		0,11	0,4	45,79	270,71	274,56
		0,22	0,2	35,38	105,77	111,53
2	445	0,22	0,3	50,82	270,61	275,34
		0,22	0,4	55,23	314,76	319,57
		0,33	0,2	40,51	130,47	136,61
3	445	0,33	0,3	55,55	320,54	325,32
		0,33	0,4	60,56	398,58	403,15

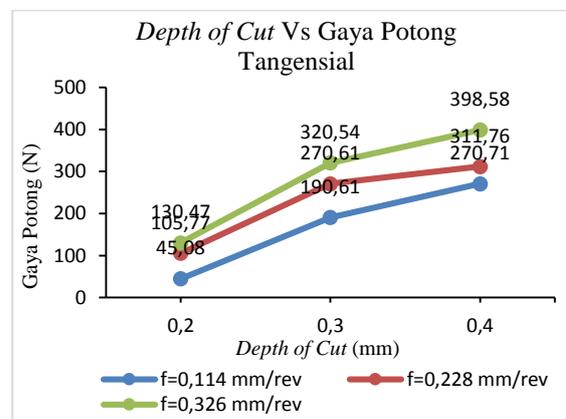
Data yang telah diperoleh kemudian dibuat dalam bentuk grafik untuk melihat nilai gaya aksial dan gaya tangensial pemotongan pada mesin bubut. Gambar 12 menunjukkan nilai gaya pemotongan aksial dengan beberapa variasi *feeding* pada mesin bubut.



Gambar 12 Grafik *Depth of Cut* Vs Gaya Potong Aksial

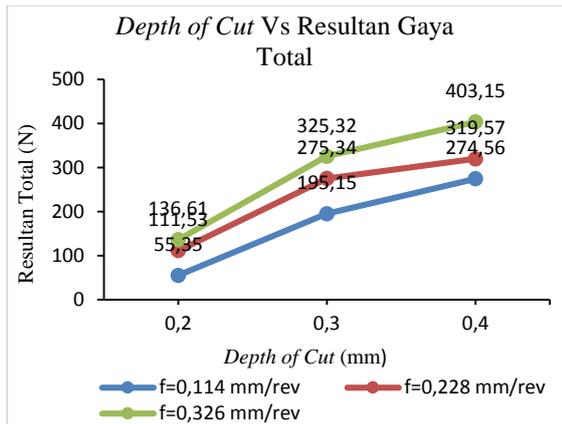
Gambar 12 menjelaskan pengaruh variasi *feeding* dan *depth of cut* terhadap besarnya gaya aksial. Apabila *feeding* dan *depth of cut* semakin besar, maka gaya potong aksial juga semakin besar. Sehingga besarnya *feeding* dan *depth of cut* berbanding lurus dengan gaya pemotongan sehingga hasil pengujian menunjukkan dinamometer berfungsi dengan baik. Gaya aksial terbesar pada pengujian dinamometer ini adalah 60,56 N pada *depth of cut* terbesar yaitu 0,4 mm dan pada *feeding* terbesar yaitu 0,33 mm/rev.

Gambar 13 menunjukkan nilai gaya pemotongan tangensial dengan beberapa variasi *feeding* pada mesin bubut.



Gambar 13 Grafik *Depth of Cut* Vs Gaya Potong Tangensial

Gambar 13 menjelaskan tentang pengaruh variasi *feeding* dan *depth of cut* terhadap besarnya gaya tangensial. Grafik hubungan antara *depth of cut* dan gaya tangensial juga menunjukkan hal yang sama terhadap grafik hubungan antara *depth of cut* dan gaya aksial, dengan variasi *feeding* dan *depth of cut* yang sama. Gaya tangensial terbesar pada pengujian dinamometer ini adalah 398,58 N pada *depth of cut* terbesar yaitu 0,4 mm dan pada *feeding* terbesar yaitu 0,33 mm/rev. Resultan total dari kedua gaya tersebut ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Grafik *Depth of Cut* Vs Resultan Total

Berdasarkan Gambar 12 dan Gambar 13 nilai gaya pemotongan arah tangensial lebih besar daripada nilai gaya pemotongan arah aksial dengan parameter permesinan yang sama. Hal ini sesuai dengan teori yang ada yang menjelaskan bahwa besarnya gaya tangensial lebih besar daripada gaya aksial.

4. Simpulan

Berdasarkan pengembangan dan pengujian yang sudah penulis lakukan pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan terkait dengan hasil pengujian adalah sebagai berikut:

- Dinamometer mampu mengukur dua arah gaya secara bersamaan yaitu gaya aksial dan tangensial pada saat proses pembubutan.
- Hasil pengembangan didapat dimensi keseluruhan yaitu panjang 190 mm dan lebar 60 mm, serta dimensi batang regang pada dinamometer dengan panjang 50 mm, lebar 6 mm dan tinggi 6 mm.
- Gaya pemotongan tangensial lebih besar daripada nilai gaya pemotongan arah aksial dengan parameter permesinan yang sama, yaitu nilai gaya pemotongan tangensial terbesar 398,58 N dan gaya pemotongan aksial terbesar 60,56 N. Gaya pemotongan tangensial terkecil yaitu 45,08 N dan gaya pemotongan aksial terkecil yaitu 32,12 N pada feeding 0,11 mm/rev dan *depth of cut* 0,2 mm.
- Resultan gaya pemotongan terbesar yaitu 403,15 N dan resultan gaya pemotongan terkecil 55,35 N pada parameter permesinan yang sama

Daftar Pustaka

- [1] Rochim, T. 1995. *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*. Jurusan Teknik Mesin. Institut Teknologi Bandung.
- [2] Anwar, K. dan Yohanes. 2016. Rancang Bangun Dinamometer Berbasis Strain

gauge dengan Batang Sensor Tipe Four Square Stalk untuk Pengukuran Gaya Potong Mesin Bubut. *Jom FTEKNIK*. Vol. 3 No.2: 1-7

- [3] Sany, F.R. 2018. Pengembangan Dinamometer Menggunakan Sensor Strain Gauge Dengan Tipe Batang Regang Four Profil-H Plate Untuk Mengukur Gaya Pemotongan Pada Mesin Bubut. *Skripsi Fakultas Teknik*. Universitas Riau.
- [4] Harahap, N.S.H. 2018. Pengembangan Dinamometer Menggunakan Sensor Strain Gauge Dengan Tipe Batang Regang Four Square Plate Untuk Mengukur Gaya Pemotongan Pada Mesin Bubut. *Skripsi Fakultas Teknik*. Universitas Riau.
- [5] Novianto, D.E. 2018. Pengembangan Dinamometer Menggunakan Sensor *Strain Gauge* Dengan Tipe Batang Regang *Single Bar* Untuk Mengukur Gaya Pemotongan Pada Mesin Bubut. *Skripsi Fakultas Teknik*. Universitas Riau.
- [6] Mardiyanto. dan E. Sumarna. 2012. Pembuatan Alat Ukur Gaya dengan Transducer Gaya *Strain gauge* dan Kantilever dari Bahan High Strength Low Alloy (HSLA) ASAB 70. *Instrumentasi scientific publication*. Vol.37 No.2: 93-94.
- [7] Purwoko, G.S., D. Djoko dan Z. Arifin. 2014. Rancang Bangun Dinamometer untuk Pengukuran Gaya Potong Mesin Bubut. *Mekanika*. Vol.12 No.2: 94-100.
- [8] Samadikun, S., S.R. Rio dan T. Mengko. 1998. *System Informasi Elektronika*. Institut Teknologi Bandung.