

Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>**METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal**

| ISSN (Print) 2598-1137 | ISSN (Online) 2597-4483 |



Artikel Penelitian

Perancangan Dinamometer untuk Mengukur Gaya Potong pada Mesin Freis untuk Pemesinan Material Fiber Reinforced Polymer

Firman Ridwan, Refki Harvendri

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Kota Padang, Sumatera Barat 25163, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 05 Februari 2020

Revisi Akhir: 10 Maret 2020

Diterbitkan Online: 06 April 2020

KATA KUNCI

Dynamometer
cutting force
milling

KORESPONDENSI

E-mail: refkiharvendri@gmail.com**A B S T R A C T**

Milling machine is a machine that cuts a workpiece using a plural chisel that rotates on a freis machine. During the freis process, the material is cut because of the cutting force that occurs between the tool and the workpiece. The amount of cutting force can be known by theoretical calculations, but the theoretical calculation will produce a less accurate cutting force because of the many factors that influence the cutting force and the assumptions given in the calculation. Therefore, direct measurements are needed in order to see the magnitude of the cutting force that occurs during the freis process. The amount of cutting force obtained will be needed in analyzing machining parameters to obtain a combination of machining that is efficient and profitable. The tool used to measure the amount of cutting force on a freis machine is a dynamometer. The constituent components of the dynamometer are loadcell strain gauge, INA 125P amplifier IC, and national instrument hardware acquisition data 6212. The dynamometer is designed to be able to read 3 directions of force, namely the cutting force (F_t), axial force (F_z), and feeding force (F_y). Measuring the average cutting force (F_{tm}) obtained using aluminum workpieces is 97,6002 N, acrylic workpiece is 65,3338 N, GFRP (Glass Fiber reinforce polymer) chopped strand mat is 146,8845 N, and GFRP woven roving is 103.3915 N. Dimensions of the dynamometer are designed with a total length of 32 cm, width 32 cm, and height of 18 cm.

1. PENDAHULUAN

Proses pemesinan merupakan langkah untuk menghasilkan sebuah produk yang sesuai dengan rancangannya. Salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan adalah proses mengefreis, yaitu proses produksi dengan cara pemotongan benda kerja menggunakan mata potong jamak dan berputar. Proses pemotongan dengan gigi potong banyak ini akan menghasilkan proses pemesinan yang lebih cepat.

Mesin freis adalah mesin yang mampu melakukan lebih banyak tugas dibanding mesin perkakas lain

pada proses pemesinan. Hal ini dikarenakan mesin freis mampu bekerja pada permukaan datar, melengkung, menyudut, atau kombinasi dari beberapa bentuk permukaan.

Saat proses freis berlangsung, material yang terpotong akan menghasilkan gaya potong. Besarnya gaya potong ini dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya jenis material benda kerja, kecepatan pemotongan, kedalaman pemotongan, geometri alat potong, rata-rata pemakanan dan cara pendinginan benda kerja [1,2].

Pengetahuan mengenai pengaruh parameter pemotongan terhadap gaya potong dapat digunakan untuk mengetahui tentang mekanisme pemotongan diantaranya *machinability* dari material, bentuk geram yang muncul, gesekan dan panas dari alat potong [3]. Selain itu, gaya potong merupakan salah satu parameter yang bisa digunakan untuk mengoptimalkan proses pemesinan pada mesin frais dan menganalisis konsumsi daya potong selama proses freis, sehingga penelitian tentang gaya potong merupakan hal yang cukup penting.

Perhitungan gaya potong secara teoritis tidak bisa memberikan hasil yang akurat. Kondisi ini disebabkan oleh banyak sekali parameter yang mempengaruhi besarnya gaya potong dan banyak sekali asumsi-asumsi yang diberikan dalam perhitungan. Selain itu, perhitungan gaya potong secara teoritis hanya dapat digunakan untuk menghitung gaya potong utama [4].

Alat yang digunakan untuk mengukur gaya potong disebut dinamometer. Harga dinamometer di pasaran cukup mahal. Salah satunya *universal* dinamometer *piezoelektrik* merk kistler, harganya mencapai 616 juta rupiah. *Universal dynamometer piezoelektrik* ini bisa mengukur gaya pada tiga arah sumbu koordinat pada mesin bubut, frais, gurdi, dan gerinda.

Karena mahalnya harga dinamometer tersebut, serta adanya kelemahan gaya potong secara teoritis, penulis merasa perlu untuk merancang dinamometer yang mampu menghitung tiga arah gaya pemotongan dengan harga yang murah.

1.1. Gaya Pemotongan pada Mesin Freis

Untuk suatu kondisi tertentu, S , n , z , t , dan D diberikan maka K_{sm} adalah fungsi dari a_r hingga daya rata-rata N_r diberikan oleh Persamaan (1) dan (2) berikut.

$$N_r = \frac{K_{sm} (t \times b \times s)}{1000} \text{ [Nm/menit]} \quad (1)$$

$$N_r = 60K_{sm} \times t \times b \times s \text{ [kW]} \quad (2)$$

Gaya rata-rata yang bekerja pada keliling pahat (gaya tangensial) dapat dihitung dengan Persamaan (3) atau Persamaan (4).

$$F_{tm} = \frac{N_r}{v_c} \text{ [N]} \quad (3)$$

$$F_{tm} = A_m K_{sm} \text{ [N]} \quad (4)$$

Dan momen puntir (torsi) rata-rata dapat dilihat pada Persamaan (5) berikut.

$$T_r = \frac{F_{tm} \times D}{2000} \text{ [N.m]} \quad (5)$$

Perbedaan antara proses freis datar dan tegak (muka) terletak pada penampang geram A_m , seperti yang terlihat pada Persamaan (6).

$$A_m = a \times f_z \text{ [mm}^2\text{]} \quad (6)$$

Berdasarkan hasil percobaan untuk berbagai kondisi pemotongan dengan beberapa benda kerja, K_{sm} tersebut hanya dipengaruhi oleh tebal geram rata-rata h_m sebagaimana rumus korelasi pada Persamaan (7).

$$K_{sm} = K_{s1.1} \cdot h_m^{-p} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (7)$$

Dalam proses freis tegak dapat diturunkan korelasi antara gaya potong spesifik referensi dengan kekuatan tarik, yaitu pada Persamaan (8). Gaya potong spesifik referensi juga memiliki rumus korelasi dengan gaya potong spesifik referensi proses pembubutan seperti Persamaan (9).

$$K_{s1.1} = 939 s_u^{0.13} \quad (8)$$

$$K_{s1.1 \text{ mengefresi}} = 1,40 K_{s1.1 \text{ membubut}} \quad (9)$$

Keterangan [5]:

- N_r = Daya rata-rata ; N.m/menit
- K_{sm} = Tahanan potong spesifik rata-rata; N/mm²
- t = Kedalaman potong; mm
- a = Kedalaman potong; mm
- S = Gerak makan per menit; mm/menit
- F_{tm} = Gaya potong rata-rata; N
- A_m = Penampang geram sebelum terpotong rata-rata; N
- v_c = Kecepatan potong; m/menit
- T_r = Momen puntir (torsi); N.m

- D = Diameter pahat atau *cutter*; m
- h_m = Tebal geram sebelum terpotong rata-rata; mm
 = $f_z \cdot \sqrt{a/d}$; mengefreis datar
 = $f_z \cdot \sin_{xr} \cdot \sin \phi_m$; mengefreis tegak
- K_{s1.1} = Gaya potong spesifik referensi; N/mm², merupakan sifat benda kerja sewaktu dipotong dengan proses freis, dipengaruhi oleh sudut geram dan kecepatan potong.
- P = Pangkat untuk tebal geram rata-rata, dipengaruhi oleh material benda kerja dan kecepatan potong (rata-rata berharga 0,25)
- s_u = Kekuatan tarik benda kerja; N/mm²

1.2. Komponen Penyusun Dinamometer

a. Load Cell

Load cell adalah alat yang mengeluarkan sinyal listrik proporsional dengan gaya/beban yang diterimanya. *Load cell* merupakan sebuah transduser yang mengubah gaya menjadi sinyal listrik, tipe yang paling umum yang digunakan adalah *load cell* tipe *strain gauge* dan banyak digunakan pada timbangan elektronik.

Komponen utama penyusun *load cell* yaitu sensor *strain gauge*. Dengan mengikat *strain gage* ke elemen mesin yang tepat, gaya yang diterapkan dapat diidentifikasi berupa perubahan tahanan atau resistansi. Cara kerja dari *strain gauge* yaitu alat pengukur diletakkan pada benda dengan perekat yang sesuai, kemudian apabila objek mengalami deformasi maka foil juga ikut terdeformasi dan menyebabkan tahanan listrik berubah, perubahan tahanan tersebut diukur oleh jembatan *wheatstone*. Jembatan *wheatstone* ini merupakan rangkaian elektronika yang akan berubah output voltasenya apabila tahanan pada susunan *strain gauge* ada yang berubah [6].

b. National Instruments USB 6212

National Instrument (NI) merupakan *hardware* yang biasa digunakan sebagai instrumen pengukuran, data akuisisi, pengkodean sinyal, serta pengontrolan yang memiliki kemampuan yang cukup mumpuni. *National Instrument* memiliki banyak tipe, salah satunya tipe USB 6212.

Perangkat NI USB memberikan akuisisi data berkinerja tinggi dalam bentuk yang mudah digunakan dan faktor bentuk portabel melalui port USB pada komputer laptop dan portable lainnya. NI memerlukan *software* data akuisisi untuk menjalankannya, salah satunya *software labview* yang menggunakan pemrograman berupa diagram blok.

c. IC Amp INA 125P

IC Amp INA 125P merupakan sebuah IC *amplifier* atau penguat sinyal untuk sebuah sensor *loadcell* atau beban berat. Dengan adanya *amplifier* ini maka kontroler dapat membaca sebuah sinyal dari sensor beban tersebut. Karena *load cell* sensor hanya mampu memberikan sebuah sinyal tegangan yang sangat kecil sehingga membutuhkan sebuah *amplifier* untuk menguatkan sinyalnya menjadi batas minimum kontroler 0V-5V.

Secara singkat, konversi nilai voltase keluaran *amplifier* menjadi nilai beban dapat dilihat pada Persamaan berikut[7]:

$$V_f = V_0 + G_s \cdot W_L \quad [\text{Volt}] \quad (10)$$

Keterangan:

V_f = Voltase keluaran *amplifier* (volt)

V₀ = Voltase *zero load output* (volt)

G_s = Sensitivitas sensor (volt/gram)

W_L = Beban (gram)

2. METODOLOGI

2.1. Identifikasi Masalah

Pada penelitian ini, dinamometer akan dirancang menggunakan sensor *loadcell* [8] dan kontroler *National Instrument* [9] untuk mengukur gaya potong pada mesin freis.

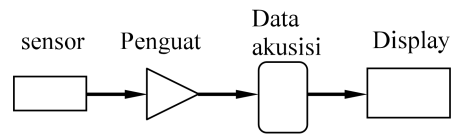
2.2. Studi Literatur

Untuk merancang dinamometer mesin freis diperlukan informasi-informasi yang berhubungan dengan komponen pembuatan alat, cara kerja, serta penelitian-penelitian yang telah membuat dan

menguji alat sejenis. Bahan ini diperoleh dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan internet.

2.3. Konsep Desain

Perancangan dan desain awal dinamometer ini didasarkan pada referensi konsep desain dinamometer yang ada, terdiri dari sensor, *amplifier*, data akuisisi, dan *display*, dan komponen pendukung. Konsep desain dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsep desain dinamometer

2.4. Perancangan Sistem

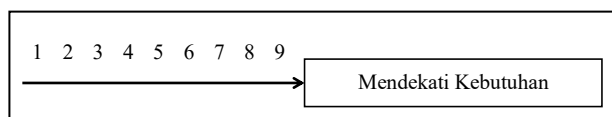
Setelah ditentukan konsep desain, tahap selanjutnya yaitu pemilihan komponen untuk

pembuatan dinamometer yang sesuai dengan konsep desain tersebut. Pemilihan komponen dilakukan dengan metoda perancangan melalui *screening* kriteria komponen. Pada proses ini akan didapatkan jenis atau tipe komponen yang akan digunakan. Pada Tabel 1 dapat dilihat rangkuman pemilihan komponen dinamometer.

Tabel 1. Pemilihan Komponen Dinamometer[10]

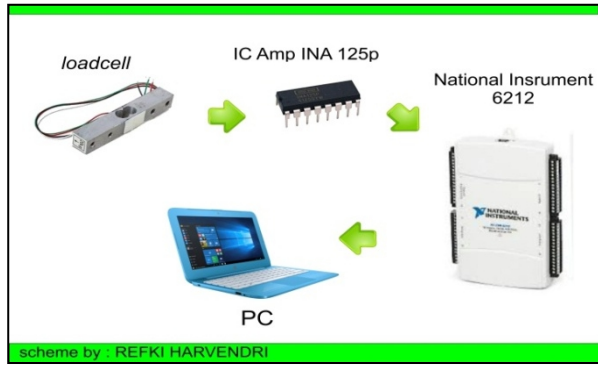
No	Komponen	Kondisi Kerja	Kriteria Komponen	Alternatif Komponen	Screening Prioritas Point	Penentuan Komponen
1	Sensor	Beban tinggi	Kuat	Load cell beam type	8	✓
		Kemampuan mendeteksi baik	Akurasi tinggi			
		Ukuran kecil	Sensitivitas baik	Button load cell		
			Simple			
2	Data Akuisisi Hardware	Daya rendah	Daya langsung dari PC	Arduimo	6	
		Interface mudah dan menarik	Mudah diprogram	National Instrument	9	✓
		Kecepatan tinggi	Sampling frequency tinggi			
3	Amplifier	Daya rendah	Daya langsung dari PC	HX711 module	6	
		Pembesaran sinyal tinggi	Output sinyal besar	IC Amp ADS1100	7	
		Kompatibilitas baik	Relevan dengan banyak device	IC Amp INA 125P	8	✓

Metode *Screening* dilakukan berdasarkan kondisi kerja dan kesesuaian karakteristik komponen yang akan dipakai. Rentang nilai yang digunakan untuk prioritas adalah 1 sampai 10 poin. Kesesuaian karakteristik dan harga yang lebih murah akan meningkatkan nilai prioritas, sedangkan sebaliknya akan menurunkan nilai prioritas. Pendefinisian poin dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pendefinisian poin metode *Screening*

Proses pemberian poin dilakukan sendiri berdasarkan diskusi dan peninjauan kecocokan spesifikasi alat dengan kebutuhan rancangan. Setelah poin diberikan, kemudian dilakukan pemilihan komponen. Untuk komponen pendukung seperti kabel, konektor, papan rangkaian, baut perakitan, dan komponen lain disesuaikan dengan komponen alat yang terpilih. Komponen yang telah terpilih tersebut dihubungkan melalui sebuah sistem. Sistem yang digunakan dalam dinamometer ini menggunakan sistem mekatronika yang berfungsi sebagai monitoring. Gambar 3 menunjukkan perancangan sistem dinamometer.



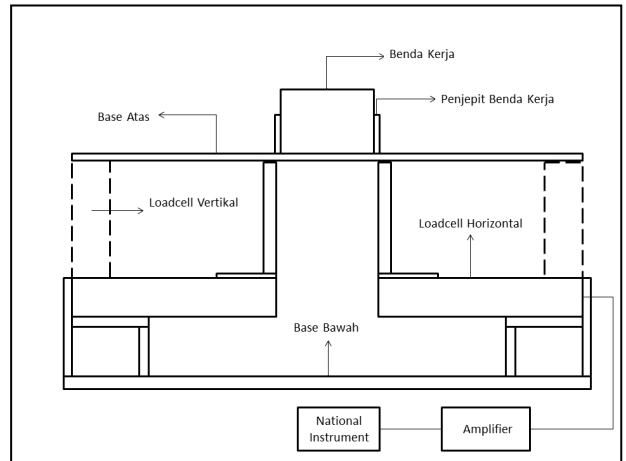
Gambar 3. Perancangan Sistem Dinamometer

Semua komponen tersebut akan dirangkai dan dipasang sebagai *tool holder* atau pemegang benda kerja. *Sensor loadcell* yang digunakan berjumlah 8 buah. Empat *loadcell* untuk mendeteksi gaya aksial (F_z), dua *loadcell* untuk mendeteksi gaya makan (F_y), dan dua lainnya untuk mendeteksi gaya potong tangensial (F_t), pada mesin freis. Ketika mesin freis bekerja dan memotong benda kerja, maka dinamometer akan ikut merasakan gaya dari pahat mesin freis. *Loadcell* akan menghasilkan sinyal akibat gaya tersebut dan amplifier INA 125p akan menguatkan sinyal tersebut dan mengirimnya ke *National Instrument*. *National Instrument* akan mengolah sinyal tersebut dan menghasilkan data nilai gaya yang kemudian data ditampilkan pada monitor PC dan disimpan. Data kemudian dapat dilihat pada *personal computer* dalam bentuk file *excel*.

2.5. Desain Alat

Dinamometer didesain menggunakan delapan buah *loadcell* yang disusun sebagai pemegang benda kerja. Semua komponen diapit oleh dua lempengan besi pada bagian atas dan bawahnya. *Loadcell* horizontal dipasang pada *mounting* yang diletakkan pada *base* bawah. Ujung *Loadcell* horizontal dipasangkan dengan kaki *base* atas yang akan meneruskan gaya dari *base* atas ke *loadcell*. *Loadcell* vertikal dipasang pada bagian dinding *base* bawah. Ujung *Loadcell* vertikal dipasangkan konektor berbentuk siku yang akan meneruskan gaya dari *base* atas ke *loadcell*. Desain dibuat menggunakan *software AutoCAD* dan *Autodesk*

Inventor. Desain dinamometer dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain Dinamometer

2.6. Tahapan Pembuatan, Perakitan, dan Pemograman

Proses pembuatan dilakukan setelah perancangan dan desain alat diselesaikan. Tahap ini dimulai dengan pembelian semua komponen-komponen yang dibutuhkan seperti *loadcell*, *IC amplifier*, pelat besi, dan komponen lainnya. Berikut ini diuraikan tahapan pembuatan, perakitan, dan pemograman.

2.7. Pengujian

Sebelum dilakukan proses pengujian, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi dinamometer. Pada tahap ini dinamometer akan diberikan beban dengan beberapa variasi. Sebelumnya beban tersebut diukur beratnya menggunakan timbangan digital dan dicatat. Variasi beban diletakkan pada dinamometer dan dicatat berapa nilai voltase yang dihasilkannya pada monitor PC melalui *software labview*. Hal tersebut dilakukan pula pada seluruh variasi beban yang ditetapkan. Proses kalibrasi ini dilakukan per *channel*. Untuk *channel* 1, beban cukup diletakkan di atas dinamometer dan dicatat berapa voltase yang dihasilkannya. Untuk beban bernilai negatif, beban akan diikat pada tali yang terhubung pada *channel* 1 dinamometer dan digantung, sehingga dinamometer menjadi tertarik dan mendapatkan beban minus. Pada *channel* 2 dan *channel* 3 yang berbeda posisinya dengan

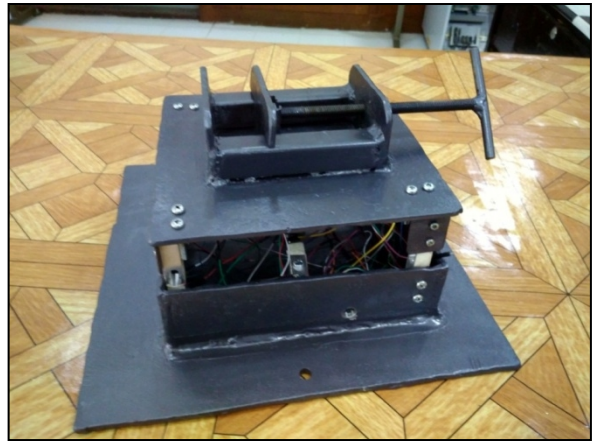
channel 1, beban akan diikat pada tali dan kemudian digantung sesuai arah gaya yang dibaca oleh *loadcell* sehingga dinamometer akan terdorong oleh beban karena pengaruh gaya gravitasi bumi. Untuk beban negatif, beban cukup diarahkan berlawanan dengan beban yang bernilai positif. Setelah diperoleh data variasi beban terhadap voltase dinamometer, dicari persamaan regresi linear untuk mendapatkan hubungan antara beban dengan voltase dan dilihat pula nilai korelasinya. Persamaan yang diperoleh akan dijadikan pengubah nilai voltase menjadi nilai massa dengan satuan gram.

Setelah dilakukan kalibrasi dan uji pembacaan sensor, selanjutnya dilakukan pengujian untuk pengukuran gaya potong. Pada pengujian ini terdapat empat benda kerja yang akan diuji pada mesin freis yaitu benda kerja berbahan aluminium, akrilik, GFRP (*Glass Fibre Rainforce polymer*) dengan penguat serat kasar (*woven roving*), dan GFRP dengan penguat serat halus (*chopped strand mat*). Proses freis dilakukan sebanyak tiga kali pada tiap-tiap benda kerja dengan parameter pemesinan yang sama. Pengambilan data dilakukan ketika pahat mesin freis sedang memotong benda kerja. Saat pengukuran berlangsung, hasil pengukuran langsung dapat dilihat pada monitor PC dan Setelah selesai melakukan freis pertama, hasil pengukuran kemudian disimpan dalam file *excel*. Hal yang sama dilakukan untuk semua benda kerja yang digunakan dalam pengujian ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Rancangan Dinamometer

Setelah pembuatan dan perakitan dinamometer selesai, didapatkan hasil bentuk rancangan dinamometer untuk mengukur gaya potong pada mesin freis yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Rancangan Dinamometer

Dinamometer memiliki ukuran total 32 cm × 32 cm × 18 cm pada base bawahnya yang akan menopang semua sensor dan penjepit benda kerja dan dikunci pada meja mesin freis. Dapat dilihat pada Gambar 4.1, *loadcell* tipe *beam* terpasang sesuai dengan desain yang dibuat menggunakan baut. Base bawah terbuat dari besi pelat dengan ketebalan 5 mm, untuk base atas dan penjepit benda kerja menggunakan besi pelat dengan ketebalan 4 mm.

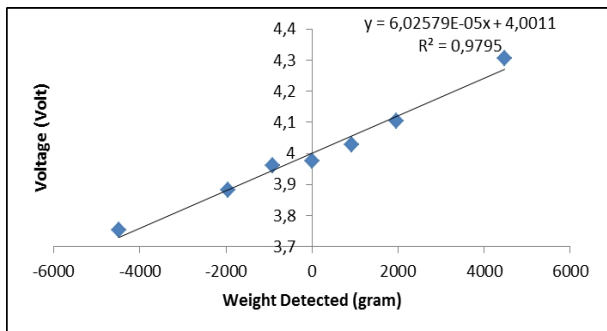
3.2. Hasil Kalibrasi dan Pengujian Pembacaan Sensor

Kalibrasi dilakukan terhadap ketiga channel yang ada pada dinamometer secara bergantian menggunakan beban yang divariasikan. Setelah beban diaplikasikan pada channel, kemudian dicatat nilai voltase yang dihasilkannya seperti yang terlihat pada Tabel 2. Hubungan antara beban dan voltase diperoleh dengan menggunakan persamaan regresi linear untuk channel 1, channel 2, dan channel 3 yang dapat dilihat masing-masing pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 sehingga dapat dihasilkan nilai sensitivitas dan nilai voltase saat beban nol seperti yang terlihat pada Tabel 2.

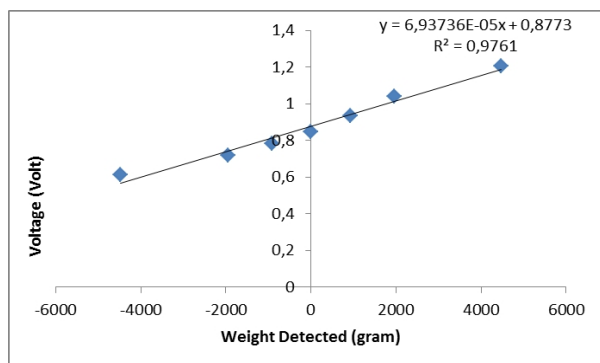
Tabel 2. Kalibrasi Dinamometer

weight (gram)	Output(volt)		
	Channel 1	Channel 2	Channel 3
4480	4,30665	1,20717	3,13233
1955	4,10526	1,03997	3,04427
923	4,0268	0,93558	3,03472
0	3,97426	0,84488	2,87993
-923	3,96092	0,78154	2,83483
-1955	3,88144	0,71907	2,77643
-4480	3,75225	0,6126	2,62963

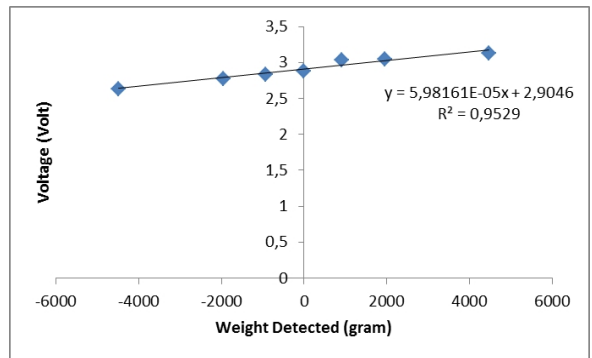
Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa channel 1, channel 2, dan channel 3 memiliki output voltase yang berbeda-beda, perbedaan ini terjadi karena dipengaruhi oleh perbedaan jumlah sensor dan pengaturan *gain amplifier* yang dapat dilakukan dengan cara memutar trimpot pada rangkaian amplifier sesuai dengan output voltase yang diinginkan. Hasil pembacaan kemudian dijadikan ke dalam grafik dan dicari persamaan regresi linearnya menggunakan *microsoft excel*.



Gambar 6. Persamaan Regresi Linear Channel 1



Gambar 7. Persamaan Regresi Linear Channel 2



Gambar 8. Persamaan Regresi Linear Channel 3

Pada Gambar 6 s/d 8 terlihat bahwa bahwa nilai output sensor berbanding lurus dengan pembebanan yang diberikan, semakin besar pembebanan yang diberikan maka output tegangan semakin besar dan begitu sebaliknya. Persamaan yang diperoleh untuk channel 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah:

$$y_1 = 6,02579 \times 10^{-5}x + 4,0011$$

$$y_2 = 6,93736 \times 10^{-5}x + 0,8773$$

$$y_3 = 5,98161 \times 10^{-5}x + 2,9046$$

dimana x merupakan variasi pembebanan dan y adalah output tegangan. Pada Gambar 6 s/d 8 tersebut juga dapat dilihat tingkat korelasi untuk channel 1 dengan $R^2 = 0,9795$, channel 2 dengan $R^2 = 0,9761$, dan channel 3 dengan $R^2 = 0,9529$ yang nilainya hampir mendekati 1. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel yaitu beban dan output tegangan dari sensor *loadcell* terkolerasi dengan baik. Apabila nilai kolerasi (nilai tingkat kepercayaan) mendekati angka 1 maka data yang diperoleh dari kalibrasi pada *loadcell* termasuk valid. Nilai sensitivitas sensor dan voltase saat tanpa beban yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai sensitivitas dan Voltase Beban Nol

	<i>Sensitivity</i> (volt/gram)	<i>zero load</i> <i>output</i> (volt)
channel 1	6,02579E-05	4,001082857
channel 2	6,93736E-05	0,877258571
channel 3	5,98161E-05	2,904591429

Tabel 3 menunjukkan besarnya nilai sensitivitas sensor dan *zero load output* yang masing-masing akan dibutuhkan dalam persamaan pengubah

voltase menjadi gaya. Setelah proses kalibrasi selesai, selanjutnya dilakukan pengujian pembacaan nilai sensor menggunakan variasi beban dengan timbangan digital sebagai alat ukur pembandingnya.

Hasil semua perhitungan pengujian pembacaan nilai sensor dapat dilihat pada Tabel 4. Pada Tabel tersebut dapat dilihat perbedaan nilai pembacaan sensor dinamometer dengan timbangan digital. Perbedaan pembacaan berkisar 2 gram sampai 20 gram, hal ini dapat terjadi karena adanya perbedaan sensitivitas pada dinamometer dengan timbangan dan perbedaan sistem yang digunakan untuk pengukuran. Ketelitian dinamometer yang diperoleh dari pengujian ini adalah 0,19 N.

Tabel 4. Hasil Uji Pembacaan Nilai Sensor

Timbangan (gram)	Dinamometer (gram)		
	Channel 1	Channel 2	Channel 3
426	411,8487	412,8577	424,7781
1339	1319,6135	1336,9845	1330,8886
1728	1709,6039	1713,0641	1717,0723
1992	1981,7674	1986,9435	1984,5588
4454	4439,5364	4448,9752	4437,0758
5070	5063,521	5057,2758	5058,9819
8937	8920,2767	8929,0656	8927,5056

3.3. Hasil Uji Pengukuran Gaya Potong

Pengukuran gaya potong dilakukan menggunakan empat buah benda kerja yang berbeda materialnya, yaitu aluminium, akrilik, GFRP (*Glass Fibre Rainforce polymer*) dengan penguat serat kasar (*woven roving*), dan GFRP dengan penguat serat halus (*chopped strand mat*). Pengujian dilakukan menggunakan *universal milling machine* buatan pindad tahun 1992. Proses yang dilakukan adalah *face milling* menggunakan pahat HSS dengan parameter pemesinan sebagai berikut.

$$N = 283 \text{ rpm}$$

$$z = 4$$

$$V_f = 104 \text{ mm/min}$$

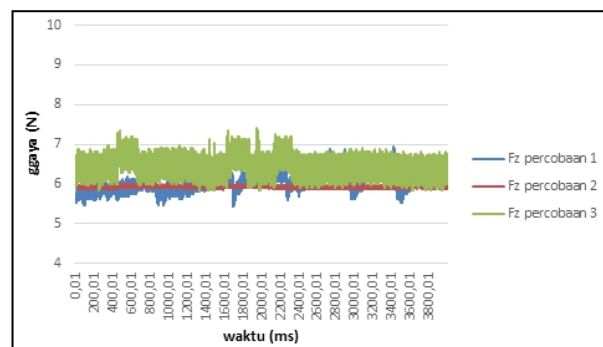
$$a = 4 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ s}$$

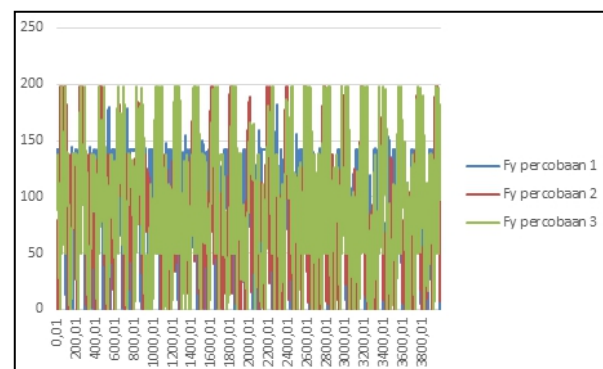
Semua benda kerja menggunakan parameter pemesinan yang sama. Pada tiap benda kerja akan dilakukan 3 kali percobaan, kemudian dilakukan

proses konversi dari voltase menjadi gaya dengan menggunakan persamaan 2.11

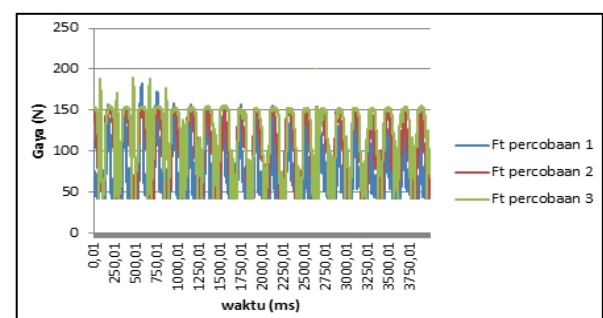
Perhitungan di atas juga digunakan pada semua benda kerja yang diujikan. Hasil pengujian gaya aksial (F_z), gaya makan (F_y), dan gaya potong (F_t) untuk benda kerja aluminium dapat dilihat pada Gambar 9 s/d 11. Pengukuran untuk benda kerja akrilik diperlihatkan pada Gambar 12 s/d 14. Untuk benda kerja GFRP dengan matriks halus dapat dilihat pada Gambar 15 s/d 17. Pengujian menggunakan benda kerja FGRP dengan matriks kasar ditunjukkan pada Gambar 18 s/d 20.



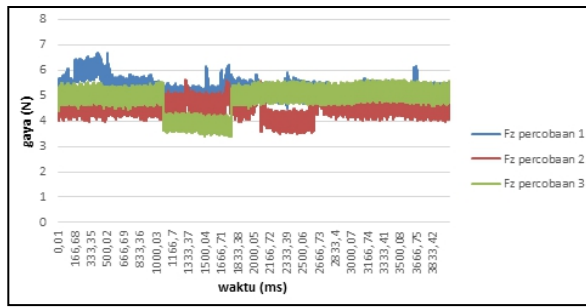
Gambar 9. Gaya aksial (F_z) pada aluminium



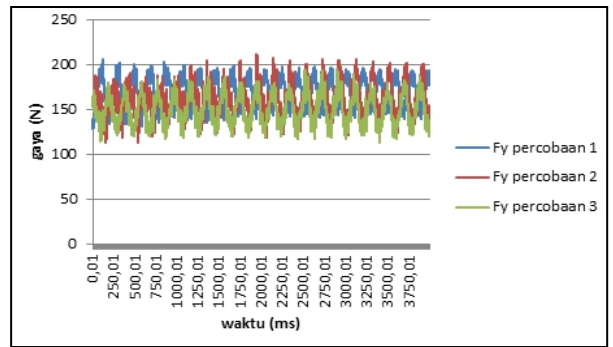
Gambar 10. Gaya makan (F_y) pada aluminium



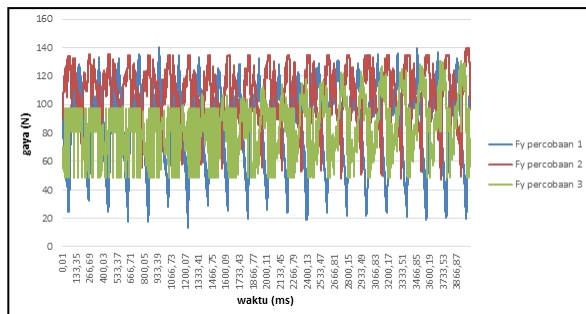
Gambar 11. Gaya potong (F_t) pada aluminium



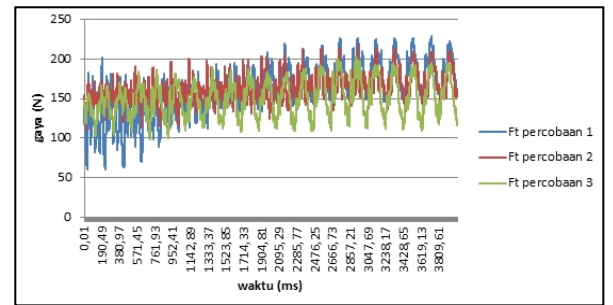
Gambar 12. Gaya aksial (F_z) pada akrilik



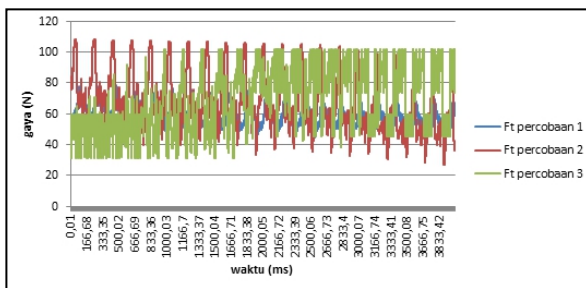
Gambar 16. Gaya makan (F_y) pada GFRP *chopped strand mat*



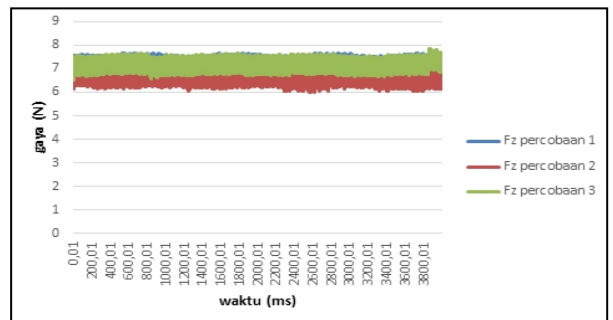
Gambar 13. Gaya makan (F_y) pada akrilik



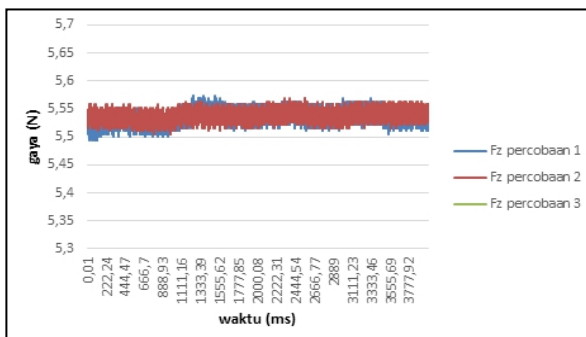
Gambar 17. Gaya potong (F_t) pada GFRP *chopped strand mat*



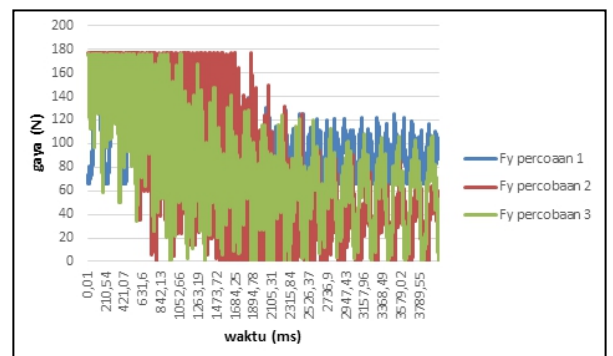
Gambar 14. Gaya potong (F_t) pada akrilik



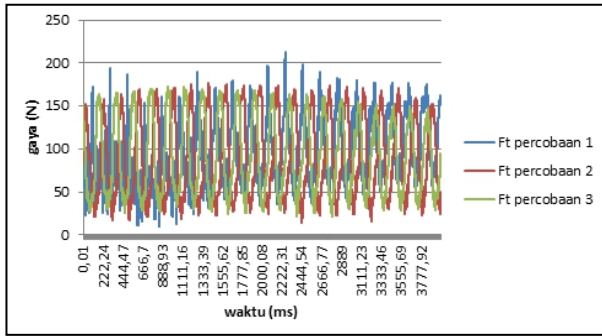
Gambar 18. Gaya aksial (F_z) pada GFRP *woven roving*



Gambar 15. Gaya aksial (F_z) pada GFRP *chopped strand mat*



Gambar 19. Gaya makan (F_y) pada GFRP *woven roving*



Gambar 20. Gaya potong (F_t) pada GFRP *woven roving*

Hasil pengukuran gaya aksial (F_z) yang terjadi selama proses freis benda kerja aluminium dalam 3 kali percobaan menunjukkan bahwa gaya yang terjadi cenderung tetap dan berada pada range 5 N sampai 7 N. Sementara itu gaya aksial yang diperoleh untuk benda kerja akrilik dalam 3 kali percobaan berkisar antara 3 N sampai 7 N. Gaya aksial untuk benda kerja GFRP matriks halus (*chopped strand mat*) berada pada 5N dan untuk benda kerja GFRP matriks kasar (*woven roving*) berada pada range 6 N sampai 8 N. Dari semua hasil tersebut menunjukkan bahwa selama 3 kali pengulangan percobaan, dinamometer memiliki Kecermatan atau Keterulangan (*Precision/Repeatability*) yang baik karena hasilnya saling mendekati. Gaya pengukuran yang terlihat cenderung konstan pada 3 kali percobaan tiap benda kerja disebabkan karena proses freis berjenis *face milling* yang tidak banyak melakukan tekanan arah aksial dengan kedalaman potong yang sama yaitu 4 mm. Hanya pada benda kerja akrilik terlihat perbedaan yang sedikit lebih besar disebabkan karena saat pengujian, akrilik yang tipis tidak mampu menahan getaran dinamometer dan membuat akrilik sedikit naik dan turun saat difreis.

Gaya makan (F_y) hasil pengukuran dinamometer untuk 3 kali percobaan memiliki nilai yang berdekatan dengan bentuk yang berfluktuasi, seperti terlihat pada Gambar 10 untuk benda kerja aluminium yang memiliki range 0 sampai 200 N. Hasil yang diperoleh untuk benda kerja akrilik memiliki range 10 N sampai 140 N seperti terlihat pada Gambar 13. Gambar 16 adalah hasil untuk

benda kerja GFRP *chopped strand mat* yang memiliki range 100 N sampai 200 N. Gambar 19 memperlihatkan hasil untuk benda kerja GFRP *woven roving* dengan range 0 sampai 180 N. Fluktuasi yang terjadi disebabkan karena posisi dari tiap mata pahat.

Puncak grafik yang menandai gaya tertinggi terjadi saat gerak makan mendorong mata pahat menyayat benda kerja dan mulai terbentuk geram, sedangkan lembah grafik menandai gaya paling rendah bahkan nol disebabkan pada posisi ini benda kerja sudah selesai terpotong dan geram sudah selesai terbentuk, namun pahat belum sampai pada permukaan benda kerja baru yang akan dipotong karena pengaruh kecepatan gerak makan yang kecil. Kedua proses ini terjadi dalam selang waktu yang sangat singkat. Untuk GFRP *chopped strand mat* yang memiliki lembah grafik mencapai 100 N dapat disebabkan oleh serat yang tidak langsung terpotong melainkan serat terlebih dahulu tertarik dan menutupi permukaan benda kerja baru yang akan dipotong sehingga pembentukan geram menjadi lebih lambat dan pahat selalu menemui permukaan baru yang didorong oleh gaya makan.

Gaya potong (F_t) yang diperoleh dari hasil pengukuran memiliki pola yang sama dengan gaya makan. Pada Gambar 11 untuk benda kerja aluminium memiliki range 40 N sampai 180 N. Gambar 14 adalah hasil untuk benda kerja akrilik memiliki range 30 N sampai 110 N. Hasil menggunakan benda kerja GFRP *chopped strand mat* seperti terlihat pada Gambar 17 memiliki range 60 N sampai 220 N. Untuk benda kerja GFRP *woven roving* pada Gambar 20 memiliki range 10 N sampai 200 N.

Fluktuasi pada grafik gaya potong (F_t) disebabkan karena posisi dari tiap mata pahat saat menyayat benda kerja. Puncak pada grafik terjadi saat mata pahat menyayat benda kerja dimana geram mulai terbentuk, sedangkan lembah grafik terjadi saat mata pahat sudah selesai memotong dan geram telah selesai terbentuk, namun dengan waktu yang singkat mata pahat lain menyusul dan bersentuhan dengan benda kerja serta mata pahat selalu minimal menggores benda kerja sehingga gaya

terkecil yang terbaca tidak sampai bernilai nol. Selanjutnya akan ditentukan nilai gaya potong rata-rata hasil eksperimen dan membandingkannya dengan gaya potong rata-rata secara empiris (teoritis).

Gaya potong rata-rata (F_{tm}) pada benda kerja aluminium diperoleh sebesar 97,6002 N, pada benda kerja akrilik sebesar 65,3338 N, gaya potong rata-rata (F_t) GFRP *chopped strand mat* sebesar 146,8845 N, dan pada GFRP *woven roving* sebesar 103,3915 N. Dengan parameter pemesinan yang sama, gaya potong yang dihasilkan berbeda-beda disebabkan material benda kerja yang berbeda-beda pula. Berikut ini perhitungan gaya potong rata-rata benda kerja secara empiris.

Hasil dari perhitungan gaya potong empiris kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan dinamometer seperti yang terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil gaya potong eksperimen dan perhitungan

Benda kerja	F_{tm} <i>experiment</i> (N)	F_{tm} empiris (N)	faktor koreksi
Aluminium	97,6002	99,1997	1,016388286
Akrilik	65,3338	50,9404	0,779694431
GFRP strand mat	146,8845	140,773	0,958392478
GFRP woven roving	103,3915	140,773	1,361552932

Faktor koreksi digunakan untuk melihat kedekatan hasil eksperimen dengan teori, bila hasil eksperimen semakin mendekati hasil teori maka nilai faktor koreksinya mendekati 1.

Nilai faktor koreksi diperoleh dengan cara membagi F_{tm} *experiment* dengan F_{tm} empiris. Hasil gaya potong eksperimen tidak akan bisa sama persis dengan hasil perhitungan secara empiris dan hanya bisa mendekati. Pada Tabel 5 terlihat bahwa harga eksperimen dan empiris hamper sama untuk benda kerja aluminium dan GFRP *chopped strand mat*. Namun untuk benda kerja akrilik dan GFRP *woven roving* terdapat

perbedaan yang cukup jauh antara harga eksperimen dan empiris. Hal ini dapat disebabkan karena benda kerja akrilik yang tipis ketika dipasang pada penjepit, permukaannya agak sedikit melengkung sehingga kedalaman potongnya sedikit bertambah, jika kedalaman potong bertambah, maka penampang geramnya semakin besar dan gaya potongnya pun meningkat. Pada GFRP *woven roving*, serat anyaman yang berada pada tepi-tepinya merenggang, saat terjadi pengerasan oleh resin, tepi serat tertarik dan membuat serat menjadi lebih meranggang dan tidak serapat daerah tengah anyamannya. Hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya penurunan gaya potong pada GFRP *woven roving*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Dinamometer memiliki total dimensi 320 mm × 320 mm × 180 mm.
2. Komponen gaya yang dapat diukur F_x , F_y , F_z , dan torsi.
3. Rentang pengukuran F_x dinamometer yaitu -800 N sampai 800 N.
4. Rentang pengukuran F_y dan F_z dinamometer yaitu -400 N sampai 400 N.
5. Sensitivitas F_x yaitu 6,025 x mV/N.
6. Sensitivitas F_y yaitu 6,93 x mV/N.
7. Sensitivitas F_z yaitu 5,98 x mV/N.
8. Ketelitian dinamometer adalah 0,19 N
9. Maksimal ukuran benda kerja pada dinamometer adalah 200 mm × 120 mm × 90 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Publikasi artikel ini didukung oleh dana Penelitian PUDPT Universitas Andalas No. 050 / SP2H / LT / DRPM / 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Korkut and M. Boy. “Experimental Examination of Main Cutting Force and Surface Roughness Depending on Cutting Parameters,” *Journal of Mechanical*

- Engineering*, Vol. 54, No.7-8, pp. 531-538, 2008.
- [2] Try, 2011, elemen dasar proses freis, diakses melalui <http://mesin-teknik.blogspot.co.id/2011/11/elemen-dasar-proses-freis-milling.html> pada tanggal 18 oktober 2017, pukul 14:36 WIB.
- [3] A.K. Baldoukas, F. A. Soukatzidis, G.A. Demosthenous and A. E. Lontos. "Experimental investigation of the effect of cutting depth, tool rake angle and workpiece material type on the main cutting force during a turning process," in *Proc. of the 3rd International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN)*, 1-3 October 2008, Chalkidiki, Greece.
- [4] G.P. Sam, D.S. Djoko dan Z. Arifin. "Rancang Bangun *Dynamometer* Untuk Pengukuran Gaya Potong Mesin Bubut," *Jurnal Mekanika*, Vol.12, No. 2, 2014.
- [5] T. Rochim. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Higher Education Development Support Project, FTI-ITB, 1993.
- [6] L. Armbrust and P. Wyatt. *Load cell*. Diakses melalui <http://studyres.com/doc/913037/load-cells> pada tanggal 23 oktober 2017 pukul 12:48 WIB.
- [7] A. Lavatelli. *A low cost strain gage load cell amplifier*. Diakses melalui <http://www.mechtechplace.net/mech-tech-electronics/building-a-low-cost-strain-gage-load-cell-amplifier/> pada tanggal 23 Juli 2018 pukul 17:03 WIB.
- [8] Teori dasar load cell, 2015, diakses melalui <http://www.rajaloadcell.com/article/teori-dasar-load-cell-112> pada tanggal 18 oktober 2017 pukul 15:03 WIB.
- [9] National instrument technical sales. *Bus-Powered M Series Multifunction DAQ for USB*. 2014. Diakses melalui <http://ni.com> pada tanggal 21 Mei 2018 pukul 20:00 WIB.
- [10] A.B.Chattopadhyay. *Dynamometer for measuring cutting force*. Indian Institute of Technology Kharagpur. India, 2011.