

Rancang Bangun dan Kalibrasi Dinamometer Silinder Berlubang untuk Proses Gurdi

Azka Aulia*, Triyono, Soeharsono

Teknik Mesin/Fakultas Teknologi Industri/Universitas Trisakti

Telp . (62-21) 566 3232

*Email: azka.aulia@trisakti.ac.id

ABSTRAK

Proses pemesian gurdi adalah proses penyayatan benda kerja dengan alat potong dengan mata potong bermata dua yang berputar. Selama proses pemotongan berlangsung, akan terjadi gaya potong. Alat untuk mengukur besarnya gaya potong dinamakan dinamometer. Penelitian ini membahas tentang rancang bangun *tool* dinamometer tipe meja untuk proses gurdi. Komponen-komponen dinamometer terdiri dari *strain gauge* yang dipasang pada sisi *hollow cylinder load cell* dan penunjuk digital nilai luaran. *Hollow cylinder load cell* dirancang menggunakan aplikasi CAD/CAM yaitu CATIA V5. “Dimensi *load cell* ditentukan dengan menganalisis kekuatannya menggunakan aplikasi Ansys. Desain yang telah dianalisis kemudian difabrikasi. Sebelum digunakan, dinamometer dikalibrasi terlebih dahulu dengan pembebanan statis. Analisis data kalibrasi menunjukkan hubungan antara keluaran (*output*) dari *strain gauge* terhadap gaya statis. Diharapkan dinamometer ini dapat mengukur besarnya gaya tekan dan torsi. Dari hasil kalibrasi diketahui bahwa beban statis 100 N sampai dengan 500 N serta torsi dari 5 Nmm hingga 30 Nmm terdapat hubungan linier antara beban dan *output* dinamometer. Setiap hubungan menunjukkan kemiringan (gradien) linier yang mengindikasikan adanya hubungan fungsional yang baik.

Kata kunci: gaya tekan, torsi, alat ukur.

ABSTRACT

The drilling process is a machining operation that involves cutting a workpiece using a two-edged cutting tool. During this process, cutting forces are generated. A device used to measure these forces is called a dynamometer. This final project focuses on the design of a table-type dynamometer for drilling operations. The dynamometer consists of strain gauges mounted on the sides of a hollow cylindrical load cell and a pointer for digital output indication. The load cell was designed using the CAD/CAM software CATIA V5, and its dimensions were determined by analyzing the strength of the hollow cylinder using the Ansys application. Once the design was analyzed, the dynamometer was fabricated. Prior to use, the dynamometer was calibrated using static loading. The calibration data analysis was based of the relationship between the strain gauge output and the applied static force. The dynamometer is expected to measure both compressive force and torque. Calibration results showed that static loads ranging from 100 N to 500 N and torque from 5 Nmm to 30 Nmm demonstrated a linear relationship between the applied load and the dynamometer output, each with a gradient that indicates a strong functional correlation.

Keywords: *compression force, torque, measuring instrument*

1. PENDAHULUAN

Membuat lubang merupakan pekerjaan umum yang dilakukan pada proses pemesian dan proses gurdi merupakan proses paling umum yang digunakan dalam pembuatan lubang [1]. Pengukuran gaya dan torsi dalam proses gurdi penting dilakukan untuk mengoptimalkan geometri gurdi dan parameter proses (kecepatan pemotongan, gerak makan dan kedalaman potong). Dalam beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa gaya pemotongan berhubungan dengan keausan pahat [2]. Salah satu hal penting dari proses gurdi adalah penentuan komponen gaya pemotongan. Secara umum pengukuran

gaya berdasarkan pengukuran defleksi pada *transduser* dari sebuah dinamometer [3]. Salah satu *transduser* yang bisa digunakan dalam dinamometer adalah *load cell*. *Load cell* dapat mengubah gaya yang diterima berdasar prinsip regangan/deformasi menjadi perubahan tahanan karena terdapat resistansi *strain gauge* [4]. Jika pengukur regangan (*strain gauge*) direkatkan ke suatu komponen, setiap distorsi komponen juga akan menyebabkan distorsi pengukur regangan. *Strain gauge* terbuat dari bahan konduktor, dan distorsi pada bahan tersebut menyebabkan perubahan resistansi [5].

Pengukuran dapat mengumpulkan informasi untuk mengetahui nilai suatu besaran atau mendapatkan bukti kualitatif [6]. Namun demikian, keterampilan seseorang untuk melakukan proses pengukuran serta kemampuan untuk menganalisis hasil pengukuran sangat bergantung pada pengetahuannya atas prosedur dan alat ukur serta cara pemakaiannya [7]. Sering kali, pengukuran mengalami kesalahan yang mengakibatkan hasil yang tidak akurat, yang bersumber dari kesalahan operator atau dari alat ukurnya. Untuk mengetahui sumber kesalahan dari alat ukur adalah dengan melakukan kalibrasi ulang pada alat ukur tersebut. Kalibrasi bertujuan untuk memastikan bahwa alat ukur bekerja sesuai dengan spesifikasinya, melalui proses perbandingan dengan standar yang diakui secara nasional atau internasional serta bahan acuan yang terjamin [8]. Saat ini, dinamometer impor untuk proses gurdi memiliki harga yang tinggi dan tidak tersedia secara luas di pasar lokal. Hal ini menyulitkan pelaksanaan riset eksperimental di institusi pendidikan atau industri kecil.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengacu pada kemampuan mesin gurdi pada laboratorium proses produksi pada jurusan Teknik Mesin Universitas Trisakti dengan spesifikasi daya tersedia 1,14 kW dan diameter pahat maksimal 25 mm. Untuk mengetahui spesifikasi dari dinamometer, dilakukan perhitungan momen puntir dengan persamaan 1 dan gaya tekan dengan persamaan 2 [1].

$$M_t = \frac{N_c * 60.000.000}{2\pi * n} \quad (1)$$

$$F_z = C_2 d^m f^n \quad (2)$$

Di mana,

M_t = momen puntir/torsi; Nmm

N_c = daya mesin; kW

n = putaran *spindle*; rpm

F_z = gaya tekan; N

C_2 = konstanta yang harganya dipengaruhi oleh jenis benda kerja dan pemakaian cairan pendingin

d = diameter pahat; mm

m, n = pangkat untuk diameter dan gerak makan dalam rumus korelasi momen dan daya

f = gerak makan; mm/putaran

Dari Persamaan 1, dilakukan perhitungan sehingga didapat momen puntir/torsi maksimal yang dapat diterima dinamometer hasil rancangan adalah 34,559,36 Nmm dengan asumsi putaran *spindle* maksimal yang digunakan adalah 500 rpm. Selanjutnya dengan Persamaan 2, dilakukan perhitungan dengan asumsi benda kerja menggunakan

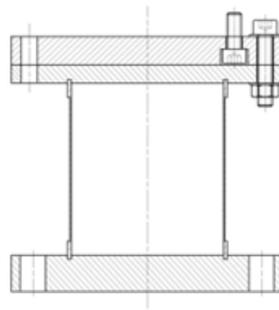
baja standar DIN 3151, diameter pahat maksimal 20 mm dan gerak makan 0,315 mm/putaran. Dari perhitungan berdasar asumsi dan tabel konstanta yang ditunjukkan pada Tabel 1, didapatkan hasil gaya tekan maksimal yang akan diterima dinamometer adalah 5,848,5 N.

Tabel 1. Data pemesinan proses gurdi [1]

Benda kerja (SAE-DIN)	Untuk Momen Puntir					Untuk Gaya Tekan		
	C1	x	y	kd1.1	kd5.1	C2	m	n
Baja (1020-C22)	536	1,8	0,78	4288	3259	575	1	0,78
(1035-C35)	620	1,8	0,78	4960	3770	605	1	0,78
(1112-9S20)	410	1,8	0,78	3280	2493	-	-	-
(3151-)	741	1,8	0,78	5960	4530	720	1	0,78
Besi Tuang	300	1,7	0,60	2400	1602	376	1	0,60
Kuningan	115	1,9	0,73	920	817	187	1	0,60
Aluminium	131	1,9	0,83	1048	920	200	1,2	1,1

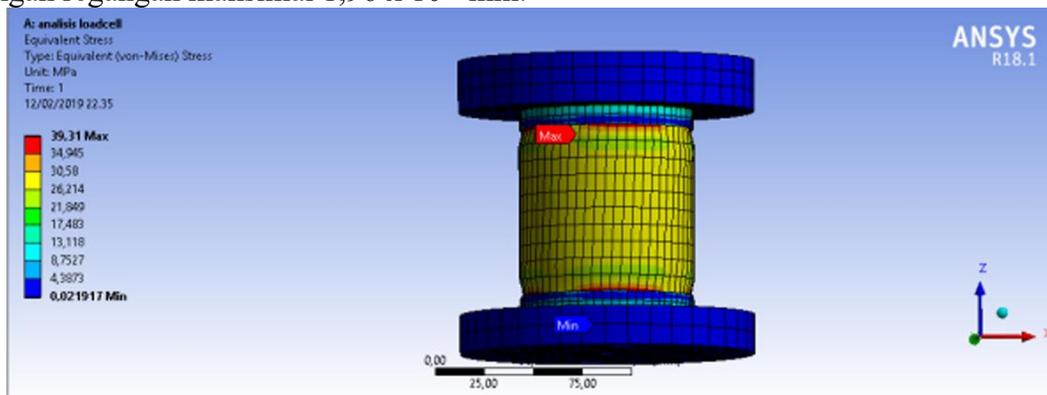
2.2 Desain Dinamometer

Material yang digunakan untuk *load cell* adalah SS 304 *seamless*. Material SS 304 memiliki kekuatan tarik berkisar diantara 540-750 MPA [9]. Untuk dudukan atas, dudukan bawah, dan dudukan *chuck* menggunakan material S45C. *Chuck* digunakan sebagai pencengkam benda kerja di atas dinamometer. *Load cell* dinamometer dirancang berbentuk silinder berlubang dengan ketebalan dinding 0,8 mm.. Berbeda dengan penelitian sebelumnya [2][5] yang menggunakan *load cell* tipe ring atau tiga-komponen, penelitian ini mengembangkan dinamometer berbasis *load cell* silinder berlubang dengan konfigurasi kombinasi jembatan *wheatstone full bridge* dan *half bridge*. Selain itu, pendekatan kalibrasi ganda menggunakan *data logger* dan *multi tester* memberikan fleksibilitas penggunaan dalam laboratorium. Pada kedua ujung silinder memiliki ketebalan 2 mm. Dudukan atas dan bawah dibuatkan alur untuk tempat *load cell* agar mempermudah dalam penyatuan komponen. Pada dudukan bawah dibuat lubang untuk tempat membaut pada *T-slot* meja gurdi dan dudukan atas dibuat lubang untuk dipasangkan pada dudukan *chuck*. Tampilan rancangan dinamometer dibuat dengan *software* AutoCAD seperti pada Gambar 1. Pada bagian atas dinamometer diberi dudukan untuk pemasangan *chuck* pencengkam benda kerja.

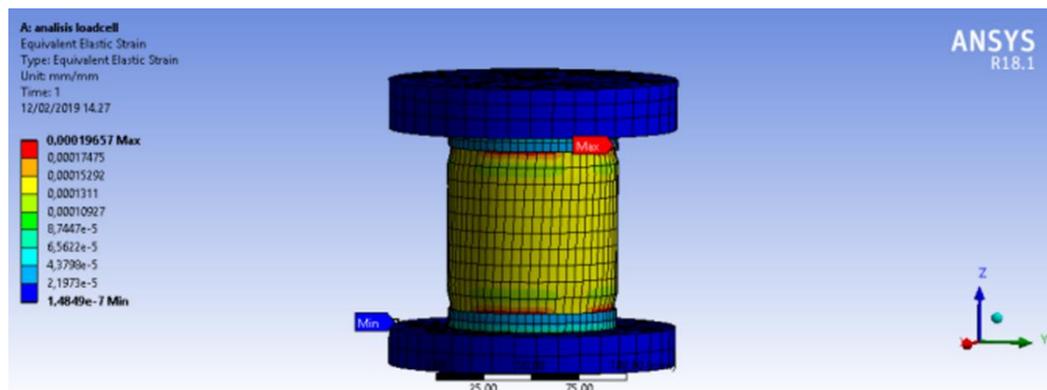


Gambar 1. Rancangan bentuk dinamometer

Setelah diketahui gaya tekan dan torsi maksimal rancangan, selanjutnya dibuatlah desain 3D dengan *software* CATIA untuk selanjutnya dilakukan simulasi pembebanan dengan *software* Ansys. Hasil analisis tegangan ditunjukkan pada Gambar 2. Dengan memberikan pembebanan gaya tekan sebesar 5850 N dan torsi sebesar 35.000 Nmm, diketahui besar tegangan maksimum yang diterima *load cell* adalah 39,31 MPa. Selanjutnya pada Gambar 3 disimulasikan regangan maksimal yang akan diterima *load cell* dengan pembebanan yang sama dengan simulasi tegangan. Didapat hasil analisis dengan regangan maksimal $1,96 \times 10^{-4}$ mm.



Gambar 2. Simulasi tegangan maksimal yang diterima *load cell*



Gambar 3. Simulasi regangan maksimal yang diterima *load cell*

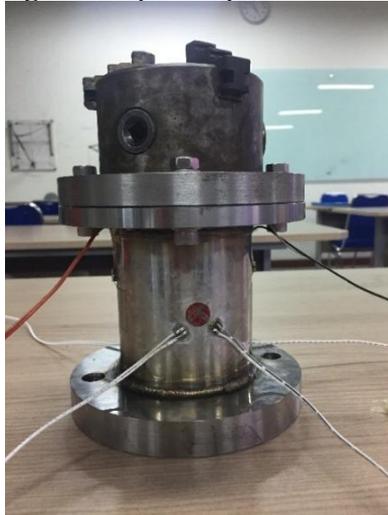
2.3 Proses Pembuatan

Silinder SS 304 dibubut dengan bantuan logam pengisi yang ditunjukkan Gambar 4 agar dapat memotong dengan ketebalan 0,8 mm. Selanjutnya *load cell* dilas dengan dudukan atas dan bawahnya menggunakan las TIG. Digunakan *clamp* C untuk mencegah deformasi ketika proses pengelasan. Untuk menghubungkan *load cell* dengan *chuck*, dudukan *chuck* dibaut pada dudukan atas dinamometer.



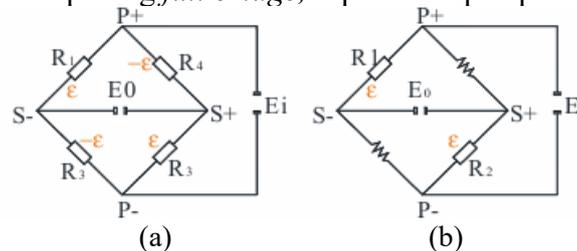
Gambar 4. Logam pengisi silinder

Setelah proses manufaktur selesai, dilanjutkan dengan memasang *strain gauge*. Pada penelitian ini digunakan dua jenis *strain gauge* dengan tipe FLA-6-11 dan FCA-6-11 sebagai *transducer*. Pemasangan *strain gauge* diletakkan tepat di tengah *load cell* dengan posisi saling bertolak belakang untuk tipe *strain gauge* yang sama. *Strain gauge* dipasang dengan jarak yang sama antar *strain gauge* yang lain. Bentuk dinamometer setelah pemasangan *strain gauge* ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk dinamometer

Pemasangan susunan *strain gauge* dan kelistrikan menggunakan konfigurasi jembatan *wheatstone*. *Strain gauge* FLA-6-11 dipasang dengan konfigurasi *half bridge* dan untuk *strain gauge* FCA-6-11 dipasang *full bridge*, seperti nampak pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema jembatan *Wheatstone*: (a) *full bridge*, (b) *half bridge* [2]

Hubungan antara regangan material dengan tegangan listrik yang dihasilkan ada pada Persamaan 3 dan 4. Persamaan 3 digunakan untuk *strain gauge* FLA-6-11 (*half bridge*) dan persamaan 4 untuk *strain gauge* FCA-6-11 (*full bridge*):

$$\frac{\Delta E}{v_i} = \frac{s_g}{4} (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4)$$

$$\frac{\Delta E}{v_i} = \frac{s_g}{2} \epsilon \quad (3)$$

$$\frac{\Delta E}{v_i} = \frac{s_g}{4} (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4)$$

$$\frac{\Delta E}{v_i} = s_g \epsilon \quad (4)$$

Di mana:

- Δ_E = beda tegangan (mV)
- v_i = tegangan input (mV)
- s_g = vaktor *strain gauge*
- ϵ = regangan

2.4 Proses Kalibrasi

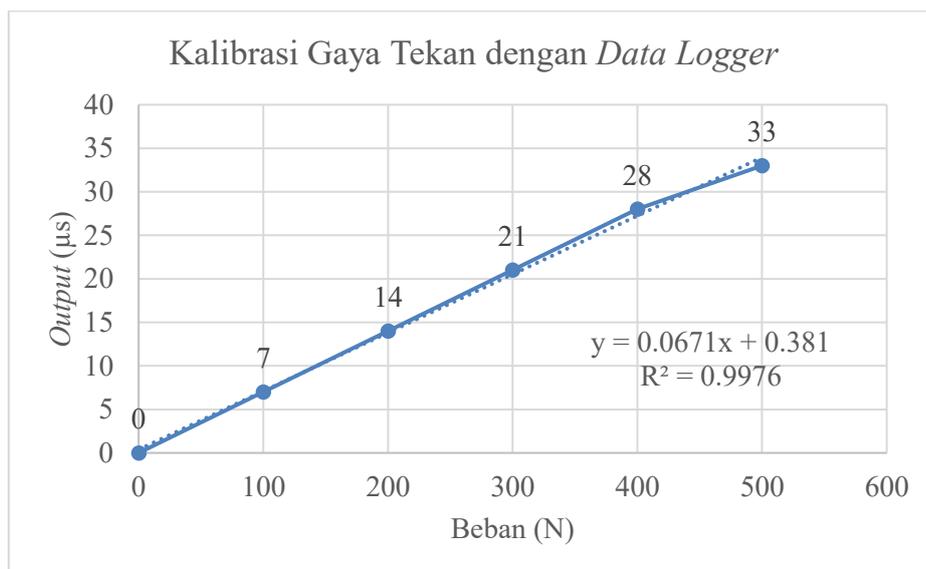
Kalibrasi dilakukan dengan *data logger*. Kalibrasi gaya tekan dilakukan dengan menggunakan beban statis sebesar 100 N, 200 N, 300 N, 400 N, 500 N dan untuk kalibrasi torsi menggunakan kunci torsi dengan pembebanan 5 Nm, 10 Nm, 15 Nm, 20 Nm, 25 Nm, dan 30 Nm yang dibantu dengan benda yang dipasang pada *chuck* sebagai tempat memasang kunci torsi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi dinamometer dengan *data logger* menunjukkan bahwa semakin tinggi beban yang diterima dinamometer, maka terjadi peningkatan angka penunjuk (μs). Hasil kalibrasi gaya tekan ditunjukkan pada tabel 2 dan grafik pada Gambar 7 dan untuk hasil kalibrasi momen puntir ditunjukkan pada tabel 3 dan grafik pada Gambar 8.

Tabel 2. Hasil kalibrasi gaya tekan dengan *data logger*

Beban (N)	Output (μs)
0	0
100	7
200	14
300	21
400	28
500	33



Gambar 7. Grafik kalibrasi gaya tekan

Gambar 8 menunjukkan hasil kalibrasi gaya tekan menggunakan *data logger*. Sumbu horizontal (Beban (N)) merepresentasikan nilai gaya tekan yang diberikan (dalam Newton), dan

sumbu vertikal (*Output* (μs)) merepresentasikan nilai *output* yang terukur oleh *data logger* (dalam μs).

Dari persamaan garis regresi gambar 7 diperoleh:

$$y=0,0671x+0,381$$

Di mana:

y = variabel terikat (*Output* (μs)).

x = variabel bebas (Beban (N)).

0,0671 = koefisien kemiringan (*slope*) garis. Ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 Newton pada beban akan menyebabkan kenaikan *output* sebesar 0,0671 μs .

0,381 = intersep (*intercept*) pada sumbu y. Ini adalah nilai *output* ketika beban adalah 0 Newton.

Grafik juga mencantumkan nilai koefisien determinasi (R^2):

$$R^2 = 0,9976$$

Nilai R^2 berkisar antara 0 hingga 1 dan mengukur seberapa baik garis regresi cocok dengan data aktual. Nilai R^2 sebesar 0,9976 sangat mendekati 1, yang mengindikasikan bahwa garis regresi linier sangat baik dalam menjelaskan variasi pada *output data logger* berdasarkan perubahan beban. Dengan kata lain, hampir 99,76% variasi pada *output* dapat dijelaskan oleh hubungan linier dengan beban.

Gambar 8 menampilkan hasil kalibrasi momen puntir dengan menggunakan *data logger*. Sumbu horizontal (Beban (Nm)) menunjukkan nilai momen puntir yang diterapkan (dalam Newton-meter), sedangkan sumbu vertikal (*Output* (μs)) menunjukkan nilai *output* yang terukur oleh *data logger* (dalam μs).

Dari persamaan garis regresi gambar 8 diperoleh:

$$y=2,4643x-3,25$$

Di mana:

y = variabel terikat (*Output* (μs)).

x = variabel bebas (Beban (Nm)).

2,4643 = koefisien kemiringan (*slope*) garis. Ini mengindikasikan bahwa setiap kenaikan 1 Nm pada momen puntir akan menyebabkan peningkatan *output* sebesar 2,4643 μs .

-3,25 = intersep (*intercept*) pada sumbu y. Ini adalah nilai *output* yang diprediksi ketika momen puntir adalah 0 Nm. Perhatikan bahwa nilai ini negatif, yang mungkin mengindikasikan adanya offset atau karakteristik tertentu dari sensor dan sistem pengukuran pada kondisi tanpa beban.

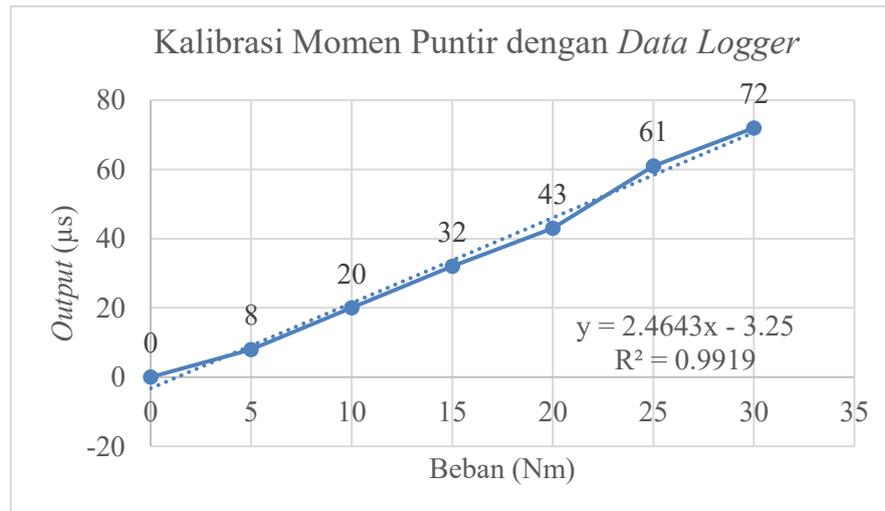
Nilai koefisien determinasi (R^2) yang tertera pada grafik adalah:

$$R^2 = 0,9919$$

Nilai R^2 ini, yang sangat mendekati 1, menunjukkan bahwa garis regresi linier sangat sesuai dengan data kalibrasi momen puntir. Ini berarti sekitar 99,19% variasi pada *output data logger* dapat dijelaskan oleh hubungan linier dengan momen puntir yang diterapkan. Dengan diperolehnya persamaan garis, dapat diketahui koefisien untuk gaya tekan dan momen puntir. Untuk gaya tekan didapatkan koefisien 1/0,0671 atau 14,9 dan untuk momen puntir didapatkan koefisien 1/2,4643 atau 0,41. Koefisien ini yang akan digunakan jika dilakukan pengukuran gaya tekan dan momen puntir pada proses gurdi dengan alat *data logger*.

Tabel 3. Hasil kalibrasi momen puntir dengan *data logger*

Beban (N)	Output (μ s)
0	0
5	8
10	20
15	32
20	43
25	61
30	72

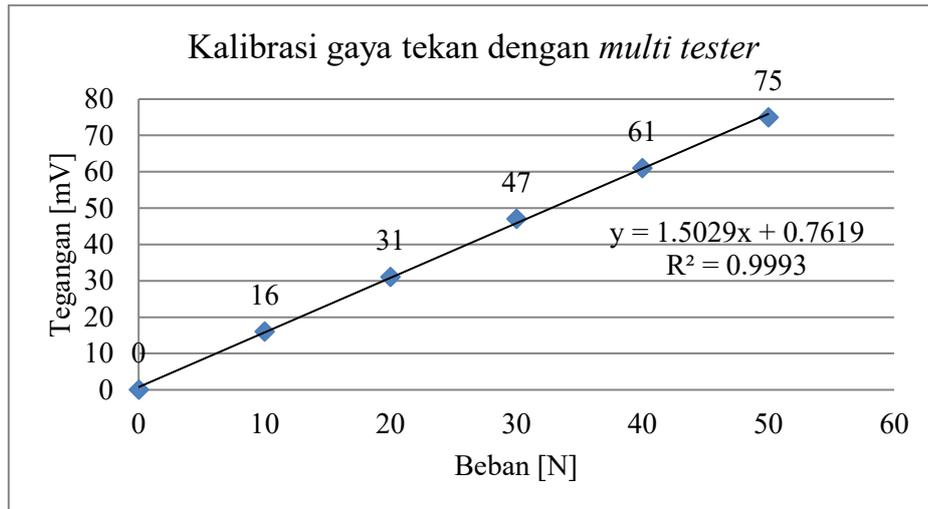


Gambar 8. Grafik kalibrasi momen puntir

Kalibrasi dengan metode lain dilakukan dengan menggunakan *multi tester*. Sinyal tegangan dari *strain gauge* yang lemah perlu diperkuat dengan *amplifier* untuk selanjutnya dibaca pada *multi tester*. Hasil kalibrasi dengan *multi tester* untuk gaya tekan ditunjukkan pada tabel 4 dan grafik pada Gambar 9. Untuk hasil kalibrasi torsi dengan *multi tester* pada tabel 5 dan grafik pada Gambar 10.

Tabel 4. Data kalibrasi gaya tekan dengan *multi tester*

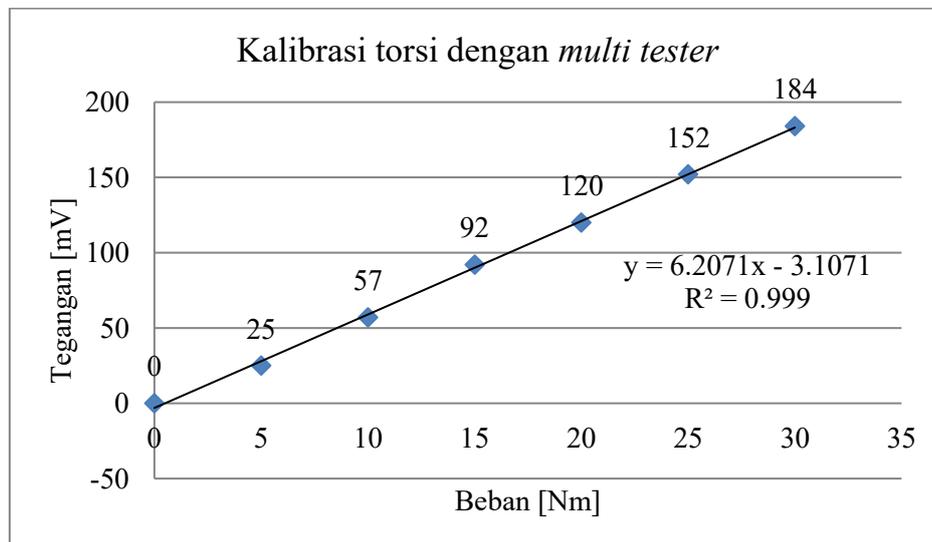
Beban (N)	Tegangan (mV)
0	0
10	16
20	31
30	47
40	61
50	75



Gambar 9. Kalibrasi gaya tekan dengan *multi tester*

Tabel 4. Data kalibrasi torsi dengan *multi tester*

Beban	Tegangan
0	0
5	25
10	57
15	92
20	120
25	152
30	184



Gambar 10. Kalibrasi momen puntir dengan *multi tester*

Gambar 10 menyajikan hasil kalibrasi gaya tekan dengan menggunakan *multi tester*. Sumbu horizontal (Beban [N]) menunjukkan nilai gaya tekan yang diterapkan (dalam Newton), dan sumbu vertikal (Tegangan [mV]) menunjukkan nilai tegangan yang terukur oleh *multi tester* (dalam milivolt).

Tujuan dari regresi linier adalah untuk menemukan persamaan garis lurus yang paling baik menggambarkan hubungan antara gaya tekan yang diberikan (variabel bebas) dan tegangan yang diukur oleh *multi tester* (variabel terikat). Garis ini akan memungkinkan untuk memahami dan memprediksi bagaimana tegangan berubah seiring dengan perubahan gaya tekan.

Dari persamaan garis regresi Gambar 10 diperoleh:

$$y=1,5029x+0,7619$$

Di mana:

y = variabel terikat (Tegangan [mV]).

x = variabel bebas (Beban [N]).

1,5029 = koefisien kemiringan (*slope*) garis. Nilai ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 Newton pada gaya tekan akan menyebabkan peningkatan tegangan sebesar 1,5029 milivolt.

0,7619 = intersep (*intercept*) pada sumbu y. Ini adalah nilai tegangan yang diprediksi ketika gaya tekan adalah 0 Newton.

Nilai koefisien determinasi (R^2) yang tertera pada grafik adalah:

$$R^2 = 0,9993$$

Nilai R^2 ini sangat dekat dengan 1, yaitu 0,9993. Ini mengindikasikan bahwa garis regresi linier sangat sesuai dengan data kalibrasi gaya tekan. Secara spesifik, sekitar 99,93% variasi pada tegangan yang terukur dapat dijelaskan oleh hubungan linier dengan gaya tekan yang diterapkan.

Gambar 10 ini menyajikan hasil kalibrasi torsi (momen puntir) dengan menggunakan *multi tester*. Sumbu horizontal (Beban [Nm]) merepresentasikan nilai torsi yang diterapkan (dalam Newton-meter), dan sumbu vertikal (Tegangan [mV]) merepresentasikan nilai tegangan yang terukur oleh *multi tester* (dalam milivolt).

Tujuan dari regresi linier dalam konteks ini adalah untuk menemukan persamaan garis lurus yang paling sesuai untuk menggambarkan hubungan antara torsi yang diberikan (variabel bebas) dan tegangan yang dihasilkan oleh *multi tester* (variabel terikat). Garis ini akan memungkinkan untuk memahami bagaimana tegangan berubah sebagai respon terhadap perubahan torsi.

Dari persamaan garis regresi gambar 10 diperoleh:

$$y=6,2071x-3,1071$$

Di mana:

y = variabel terikat (Tegangan [mV]).

x = variabel bebas (Beban [Nm]).

6,2071 = koefisien kemiringan (*slope*) garis. Nilai ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1 Nm pada torsi akan menyebabkan peningkatan tegangan sebesar 6,2071 milivolt.

-3,1071 = adalah intersep (*intercept*) pada sumbu y. Ini adalah nilai tegangan yang diprediksi ketika torsi adalah 0 Nm. Nilai negatif ini mengindikasikan adanya kemungkinan *offset* pada sistem pengukuran.

Nilai koefisien determinasi (R^2) yang tertera pada grafik adalah:

$$R^2 = 0,999$$

Nilai R^2 sebesar 0,999 sangat mendekati 1. Ini menunjukkan bahwa garis regresi linier sangat baik dalam menjelaskan variasi pada tegangan yang terukur berdasarkan

perubahan torsi yang diterapkan. Secara spesifik, sekitar 99,9% variasi pada tegangan dapat dijelaskan oleh hubungan linier dengan torsi.

Peningkatan *output* seiring peningkatan beban terjadi karena terjadi peningkatan regangan yang diterima material sehingga diterima juga oleh *strain gauge* selaku *transduser*. Hasil kalibrasi (persamaan) dengan menggunakan *multi tester* dapat digunakan untuk melakukan pengukuran gaya tekan dan momen puntir dengan alat *oscilloscope*.

4. KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat dinamometer untuk mesin gurdi dengan kapasitas beban maksimal adalah 5.850 N untuk gaya tekan dan 35.000 Nmm untuk momen puntir. Dari proses kalibrasi didapatkan dinamometer mampu membaca beban tekan dan puntir yang diterima dengan peningkatan hasil keterbacaan seiring peningkatan beban yang diterima.

Dinamometer ini berpotensi digunakan sebagai alat bantu eksperimen dalam penelitian gaya pemotongan dan optimasi parameter proses pada mesin gurdi di lingkungan pendidikan dan industri manufaktur kecil. Dinamometer ini juga dapat menjadi alternatif ekonomis bagi laboratorium pendidikan dan penelitian, serta mendukung peningkatan kapasitas eksperimental dalam pemrosesan logam

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Laboratorium Proses Produksi dan Laboratorium Fenomena Dasar Mesin (mekanika eksperimental), Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti atas dukungannya berupa peralatan dan biaya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Rochim, *Teori dan Teknologi, Proses Permesinan*. Bandung: Penerbit ITB, 1993.
- [2] I. Geonea, A. Rosca, and P. Rinderu, "Design, development and testing of a dynamometer for drill force measurement," in *Mechanisms and Machine Science*, Springer Science and Business Media B.V., 2018, pp. 487–495. doi: 10.1007/978-3-319-79111-1_48.
- [3] S. Karabay, "Analysis of drill dynamometer with octagonal ring type transducers for monitoring of cutting forces in drilling and allied process," *Mater Des*, vol. 28, no. 2, pp. 673–685, 2007, doi: 10.1016/j.matdes.2005.07.008.
- [4] A. Wibowo and L. A. Supriyono, "ANALISIS PEMAKAIAN SENSOR LOADCELL DALAM PERHITUNGAN BERAT BENDA PADAT DAN CAIR BERBASIS MICROCONTROLLER," *JURNAL ELEKTRONIKA DAN KOMPUTER*, vol. 12, no. 1, pp. 1–5, 2019.
- [5] C. N. Krishnaprasad and D. R. Kumar, "Design Development and Testing of a Dynamometer for Drill Force Measurement," *International Advanced Research Journal in Science*, vol. 7, no. 1, 2020.
- [6] Riskawati, Nurlina, and R. Karim, *ALAT UKUR DAN PENGUKURAN*, II. Makassar: LPP UNISMUH MAKASSAR, 2019.
- [7] Taufiq Rochim, *Spesifikasi, Metrologi, & Kontrol Kualitas Geometri 2*. Bandung: ITB press, 2016.

- [8] N. Fitrya *et al.*, “PENTINGNYA AKURASI DAN PRESISI ALAT UKUR DALAM RUMAH TANGGA,” *Jurnal Untuk Mu negeRI*, vol. 1, no. 2, 2017.
- [9] Y. Bai, M. Akita, Y. Uematsu, T. Kakiuchi, Y. Nakamura, and M. Nakajima, “Improvement of fatigue properties in type 304 stainless steel by annealing treatment in nitrogen gas,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 607, pp. 578–588, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.msea.2014.04.047.