

PENGUJIAN TINGKAT AKURASI DAN ERROR DIMENSI HASIL PRODUK MESIN CNC LATHE MINI CUSTOM

Computer technology development has an impact on manufacturing technology development. CNC Lathe machine is a combination of computer technology and mechanical technology. This technology produces precision manufacturing products and fast processing times. Computer Numerical Control (CNC) is a machine controlled using a computer program to simplify the machine work process and make product results more uniform and accurate. A researcher makes this CNC Lathe machine from the Department of Mechanical Engineering Tanjungpura University Pontianak. It is named Small CNC Lathe machine with specifications, two axes (X and Z), and it has small dimensions to make it easier to move. This Small CNC Lathe Machine uses a spindle motor of 1 HP, 1500 rpm and a torque of 3.5 Nm, to move the X and Z axes using two stepper motors with a torque of 0.76 Nm for the X-axis and 1.2 Nm for the Z-axis. It has a motion limit of 215 mm for the X-axis and 75 mm for the Z-axis. This research was conducted to obtain the accuracy and error of the dimensional product made in this machine. The results of 16 workpieces with four different types of programs were the average error percentage rate of 1.840%, so that it has an accuracy level of 98.160% for the X-axis and the average error percentage rate of 0,396% so that it has an accuracy level of 99.604% for Z-axis.

Keywords: CNC Lathe Machine, Accuracy Percentage, Error Percentage.

Eddy Kurniawan

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Tanjungpura
Jurusan Teknik Mesin
eddy_kurniawan@teknik.untan.ac.id

Syaifurrahman

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Tanjungpura
Jurusan Teknik Elektro
syaifurrahman@untan.ac.id

Bong Jekky

Mahasiswa S1
Universitas Tanjungpura
Jurusan Teknik Mesin
jekkyftuntan@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Sejak mesin NC (*Numerical Control*) pertama dikembangkan pada 1950-an, teknologi *Computer Numerical Control* (CNC) memiliki efek yang signifikan pada pertumbuhan industri manufaktur di seluruh dunia. Dari awal yang sederhana, teknologi CNC saat ini telah berkembang untuk mendukung produksi dari pembuatan mesin mobil bervolume tinggi hingga produksi komponen volatil bervolume rendah. Teknologi ini memberikan fleksibilitas dalam proses manufaktur yang sangat besar dengan opsi untuk menghasilkan sejumlah besar komponen geometris yang kompleks, dari bagian yang berukuran kecil (*mikro*) hingga ukuran yang besar, dari bahan seperti aluminium hingga paduan titanium. Mesin modern ini tidak hanya menyediakan mesin milling dan turning secara terpisah akan tetapi juga mesin drilling, milling, turning, laser hardening and grinding yang digunakan dalam satu mesin [1].

Memilih mesin perkakas yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi proses manufaktur produk. Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) turning *centre* dianggap kurang kompleks dibandingkan dengan Mesin CNC milling *centre*. Pembubutan adalah proses teknologi untuk pembuatan produk dengan silinder yang simetris, menggunakan alat bubut sederhana. Namun, saat ini pembubutan CNC *centre* dilengkapi dengan berbagai modul tambahan. Dengan demikian, pengguna harus memilih *tool* mesin yang tepat dari berbagai merek yang tersedia secara komersial. Proses pengambilan keputusan ini menjadi sangat sulit dan berbagai metode untuk membantunya dikembangkan baru-baru ini [2]. Selama proses pemesinan poros dengan mesin bubut CNC, Hal ini sangat penting untuk mendapatkan akurasi semua dimensi secara otomatis karena penyetulan ulang mesin akan memakan waktu yang lama. Dalam kasus ketika datum proses berbeda dari datum desain, kesalahan datum dapat terjadi. Kesalahan ini mungkin mengurangi tingkat

toleransi, yang dapat menyebabkan peningkatan biaya produksi [3].

Maching adalah proses manufaktur yang banyak digunakan di Industri yang berdampak langsung pada perkembangan teknologi. Proses pemesinan dilakukan oleh peralatan mesin, yang mungkin memiliki operasi manual, otomatis atau CNC. Mesin otomatis cocok untuk produksi suku cadang dengan geometri kompleks dan/atau bila diperlukan untuk memproduksi suku cadang dalam skala besar. Dalam kasus di mana ada kebutuhan untuk memproduksi suku cadang dalam jumlah besar, biasanya mesin CNC digunakan yang akan meningkatkan kapasitas produksi perusahaan [4]. CNC Plasma cutting yang di buat oleh [5] memiliki tingkat kepresisian rata-rata 0,3 mm. Mesin milling CNC edukasi yang di buat oleh [6] tingkat keakurasian mencapai 50 μm . Mengukur tingkat keakurasian mesin juga dapat menggunakan *motion modeling*. *Motion modeling* ini telah di uji dan di buktikan sama dengan bentuk persamaan kinematik [7]. Hal ini membuktikan teknologi CNC sangat presisi dalam pembentukan dimensi.

Perkembangan teknologi mesin-mesin, teknologi komputer di integrasikan dengan teknologi mekanik bertujuan untuk memajukan kehidupan manusia, hal ini berdampak kepada penggunaan sistem otomatisasi. Sistem ini merupakan teknologi yang berhubungan dengan aplikasi sistem elektronik, mekanik yang berbasis pada sistem komputerisasi. Dengan menggunakan sistem ini, maka biaya produksi produk akan lebih rendah [8]. Jenis Teknologi ini memiliki pilihan yang banyak, Memungkinkan para user untuk memilih sesuai kebutuhan. Disamping itu Teknologi CNC ini bisa di integrasikan pada mesin-mesin lama yang awalnya berupa mesin konvensional di ubah menjadi mesin CNC (*retrofit*) yang akan meningkatkan produktifitas mesin di era Indutri 4.0 [9].

Teknologi CNC ini bisa dikembangkan masing-masing institusi untuk kepentingan penelitian proses belajar mengajar di dunia pendidikan untuk mengatasi tingginya harga mesin CNC di pasaran [10], [11]. *Printed Circuit Board (PCB) prototyping milling machines* telah dikembangkan oleh Sathyakumar dengan menggunakan 3 axis sumbu gerak [10]. Begitu juga dengan pengembangan mesin *CNC Lathe Mini Custom* yang dikembangkan oleh Kurniawan. Masin ini sangat mudah di pindahkan dikarenek ukuran dimesinya yang kecil [11]. Kedua penelitian ini bertujuan untuk menekan biaya jika harus membeli mesin CNC pabrikan yang baru untuk kegiatan pengembangan di dunia pendidikan. Pengembangan Mesin-mesin CNC mini ini bisa dikembangkan dengan menambahkan sensor-sensor seperti sensor gaya yang di terapkan pada mesin CNC *milling* yang di kembangkan oleh Lapsomthop sehingga menambah kemampuan dari mesin [12]. Penambahan *bar feeder* pada mesin CNC yang di disain secara *custom* juga dapat menekan siklus waktu proses dan dapat dioperasikan dengan aman oleh operator mesin [4]. Untuk menekan biaya produksi dari suatu produk dikembangkan metode simulasi pada program sebelum melakukan pemesinan sebenarnya pada mesin CNC. Simulasi ini akan menekan biaya operasional *tool* dan material yang mahal jika didalam percobaan tersebut terjadi *error* atau kesalahan *input* [13].

Pada bidang penelitian di bidang CNC ini dapat di kombinasikan dengan berbagai metode seperti metode taguchi [14], [15]. Keuntungannya adalah dapat meminimalisasi parameter-parameter ukur untuk mendapata hasil yang optimal.

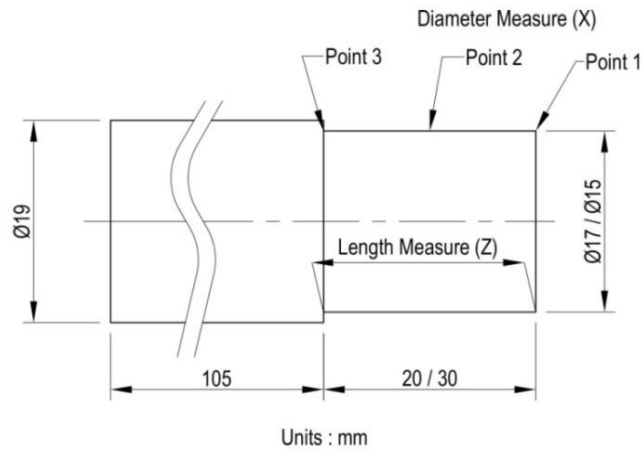
Metode pengukuran hasil produk CNC ini bervariasi dari dengan menggunakan jangka sorong, mikrometer dan teknologi yang terbaru dengan menggunakan *probing system*. Selak melakukan penelitian menggunakan *probing system* pada produk *fiber-reinforced polymer composite (FRPC)*. Hal ini akan berdampak konsumsi waktu yang dibutuhkan untuk menempatkan posisi benda kerja semakin singkat [16].

Kepresisian dimensi yang di hasilkan dari produk pemesinan seperti mesin CNC *Lathe Mini Custom* ini merupakan tolak ukur utama penilaian kemampuan atau kehandalan mesin yang dibuat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kepresisian mesin CNC *Lathe mini Custom* yang telah dibuat oleh peneliti pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Tanjungpura Pontianak dengan mencari persentase *error* yang terjadi pada benda kerja yang diproses pada mesin ini.

2. METODE DAN BAHAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengukur dimensi benda kerja hasil pembubutan menggunakan mikrometer skrup dan jangka sorong. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui diameter benda kerja dengan menggunakan mikrometer skrup dengan tingkat ketelitian 0,001 mm dan panjang benda kerja dengan jangka sorong dengan ketelitian 0.1 mm. Pada pengukuran diameter dilakukan pada 3 titik yang berbeda-beda pada benda kerja yang dapat dilihat pada Gambar 1. *Point* 1 dan 3 terletak pada bagian awal dan akhir pembubutan sedangkan *point* 2 terletak pada tengah-tengah pembubutan. Pengukuran panjang pemakanan dilakukan pada satu titik setiap benda kerja yang dapat dilihat pada gambar 1. Dalam penelitian menggunakan mesin CNC *Lathe Custom* mini yang dibuat sendiri oleh civitas akademi teknik mesin di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak yang dapat dilihat pada Gambar 2. Spesifikasi teknis

mesin adalah spindel mesin menggunakan motor induksi (AC) 1 HP 4P 750W, penggerak X dan Z axis menggunakan motor *stepper* NEMA 23 3A, motor *stepper driver* menggunakan TB6560 3A, *connector* menggunakan CNC USB *Mach3* 4A 100kHz [11]. Mesin ini menggunakan aplikasi *Mach3* sebagai perangkat lunak *programmingnya* [11]. Untuk rangka di *design custom* seperti pada Gambar 1 [11]. Variasi program sampel dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1: Titik pengukuran *sample* benda kerja.



Gambar 2: Mesin CNC Lathe Mini *Custom* Prodi Teknik Mesin Untan [11] .

Tabel 1: Variasi *experiment sample* program yang digunakan.

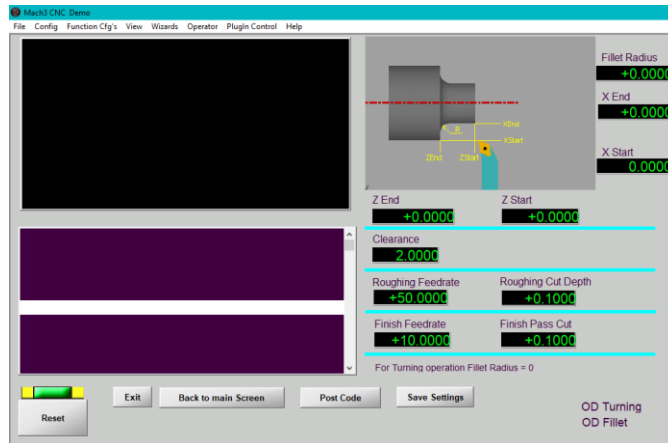
EXPERIMENTS	NUMBER OF SAMPLES	DIMENSION (mm)	
		Z _{END}	X _{END}
1	4	20	15
2	4	20	17
3	4	30	15
4	4	30	17

Keterangan:

Z_{end} = panjang pemakanan yang dituju (mm)

X_{end} = diameter pemakanan yang dituju (mm)

Parameter pemotongan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kecepatan putaran spindel 2000 rpm, celah/spasi (*clearance*) 2 mm, kecepatan pemakanan (*roughing federate*) 50 mm/menit, kedalaman pemakanan awal (*roughing depth of cut*) 0,1 mm, kecepatan pemakanan terakhir (*finish federate*) 10 mm/menit, kedalaman pemakanan terakhir (*finish depth of cut*) 0,1 mm. Parameter pembubutan program *Mach3* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3: Input parameter pemotongan pada program Mach3.

2.1 Bahan yang digunakan

Dalam penelitian ini menggunakan bahan aluminium A6061 berbentuk poros silinder dengan sifat mekanik *shear strength* sebesar 207 MPa. Benda kerja yang diuji sebanyak 16 spesimen dengan dimensi *raw material* benda kerja yang diuji yaitu diameter 3/4 inch (19 mm). Pahat yang digunakan adalah berbahan HSS.

3. HASIL DAN DISKUSI

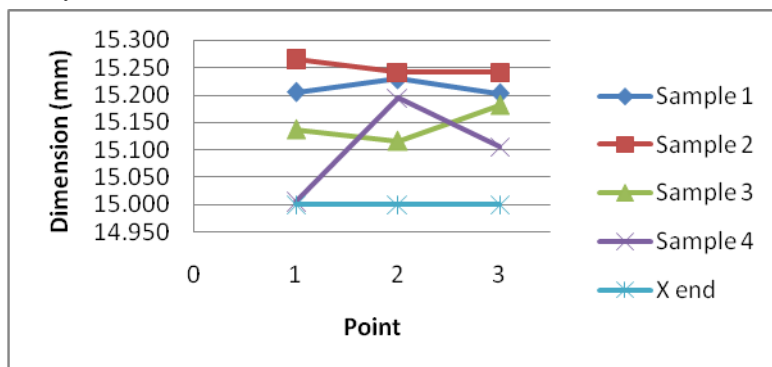
3.1 Data Pengukuran Program *Experiment 1*

Hasil pengukuran dimensi panjang dan diameter pada *Experiment 1* (Z_{end} 20 mm X_{end} 15 mm) sebanyak 4 *sample* dapat dilihat pada Tabel 2, Grafik Gambar 4 dan Grafik Gambar 5 sebagai berikut:

Tabel 2: Data Pengukuran *Experiments 1* (Z_{end} 20 mm X_{end} 15 mm).

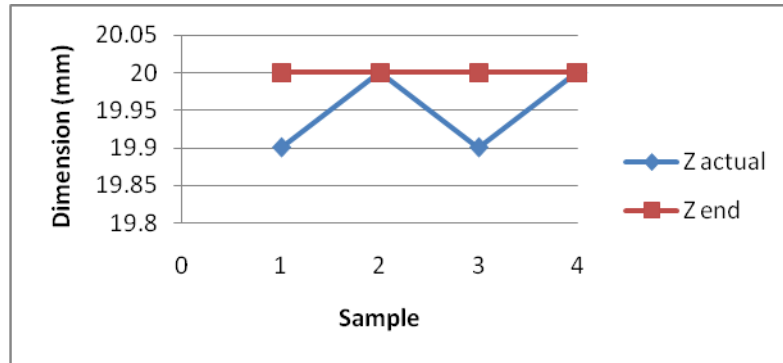
SAMPLE	DIMENSION OF LENGTH (Z) (mm)		DIMENSION OF DIAMETER (X) (mm)			
	Z _{END}	Z _{ACTUAL}	X _{END}	POINT 1	POINT 2	POINT 3
1	20	19.9	15	15.205	15.229	15.203
2	20	20	15	15.264	15.241	15.241
3	20	19.9	15	15.137	15.116	15.181
4	20	20	15	15.004	15.194	15.105
Average	20	19.95	15	15.153	15.195	15.183

Pada Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran diameter menggunakan mikrometer skrup pada *Experiment* pertama dimana pada Titik 1 rata – rata pengukuran dari 4 benda kerja yaitu sebesar 15,153 mm, Titik 2 sebesar 15,195 mm, Titik 3 sebesar 15,183 mm. Semakin panjang pemakanan nilai penyimpangan/*error* semakin besar. Pada pengukuran panjang pemakanan menggunakan jangka sorong dengan hasil rata – rata yaitu 19,95 mm.



Gambar 4: Grafik dimensi diameter pada 3 titik pengukuran *Experiment 1*.

Hasil pengukuran jika disajikan dalam grafik maka akan terlihat pada Gambar 4. Hasil pengukuran terdapat perbedaan nilai pengukuran (Titik 1), (Titik 2) dan (Titik 3). Bahwa pada *sample* ke-1 dan ke-2 hasil pengukuran di tiga titik menunjukkan hasil yang stabil tetapi jauh dari nilai X_{end} . Pada *sample* ke-3 pada Titik 1 dan Titik 2 menunjukkan nilai yang cenderung konsisten tetapi pada Titik 3 hasil pengukuran lebih menjauh dari ukuran X_{end} sehingga tidak sesuai dengan dimensi tujuan. Pada *sample* ke-4 hasil pengukuran menunjukkan fluktuasi (naik – turun) yang tidak stabil pada tiga titik yang diukur akan tetapi pada titik pertama menunjukkan hasil yang presisi karena mendekati X_{end} .



Gambar 5: Grafik dimensi panjang pengukuran *Experiment 1*.

Pada Gambar 5 menjelaskan bahwa terdapat perbedaan nilai pengukuran (Z_{aktual}) dari 4 *sample* yang dilakukan. Pada *sample* ke-1 dan ke-3 hasilnya sama walaupun hasilnya menjauhi nilai Z_{end} . Pada *sample* ke-2 dan ke-4 hasil mendekati nilai Z_{end} .

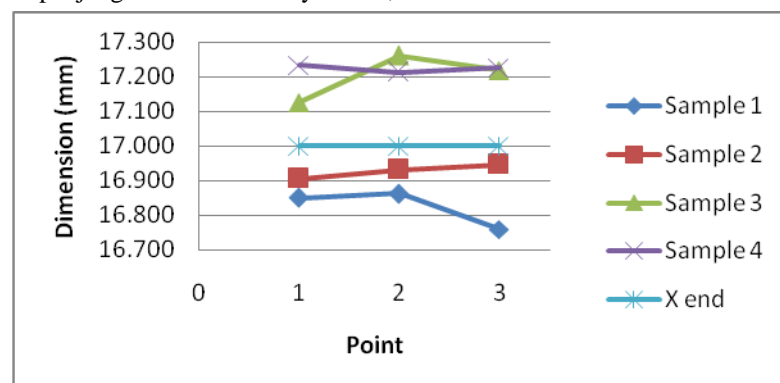
3.2 Data Pengukuran Program *Experiment 2*

Hasil pengukuran dimensi panjang dan diameter pada *Experiment* ke dua (Z_{end} 20 mm X_{end} 17 mm) sebanyak empat *sample* dapat dilihat pada Tabel 3, Grafik Gambar 6 dan Grafik Gambar 7 sebagai berikut:

Tabel 3: Data Pengukuran *Experiment 2* (Z_{end} 20 mm X_{end} 17 mm).

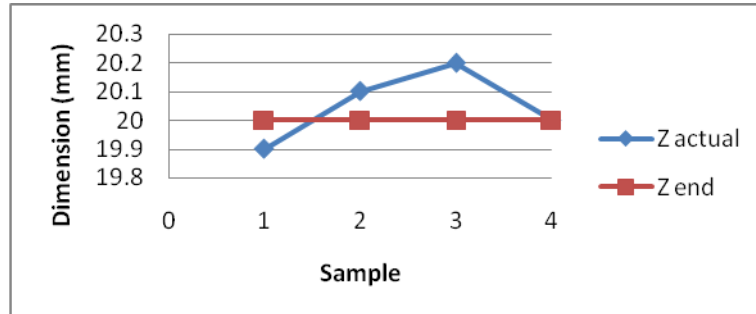
SAMPLE	DIMENSION OF LENGTH (Z) (mm)		DIMENSION OF DIAMETER (X) (mm)			
	Z _{END}	Z _{ACTUAL}	X _{END}	POINT 1	POINT 2	POINT 3
1	20	19.9	17	16.849	16.862	16.760
2	20	20.1	17	16.905	16.931	16.946
3	20	20.2	17	17.126	17.260	17.219
4	20	20	17	17.233	17.212	17.226
Average	20	20.05	17	17.028	17.066	17.038

Pada Tabel 3 menunjukkan pada Titik 1 rata – rata pengukuran dari 4 benda kerja yaitu sebesar 17,028 mm, Titik 2 sebesar 17,066 mm, Titik 3 sebesar 17,038 mm. Rata-rata *error* tertinggi pada poin 2. Pada pengukuran dimensi panjang hasil rata – rata yaitu 20,05 mm.



Gambar 6: Grafik dimensi diameter pada 3 titik pengukuran *Experiment 2*.

Gambar 6 menunjukkan Hasil pengukuran dimensi diameter pada tiga titik *Experiment 2* yaitu terdapat perbedaan nilai pengukuran (Titik 1), (Titik 2) dan (Titik 3). Bahwa pada *sample* ke-1 hasil pengukuran di Titik 1 dan Titik 2 stabil pada Titik 3 nilainya menjauhi dari nilai X_{end} . Pada *sample* ke-2 menunjukkan hasil yang stabil dari 3 titik tetapi belum mendekati nilai X_{end} . Pada *sample* ke-3 hasil pengukuran menunjukkan fluktuasi pada 3 titik tersebut dan nilainya sangat jauh di atas dari nilai X_{end} . Pada *sample* ke-4 menunjukkan hasil yang stabil jauh di bawah nilai X_{end} .



Gambar 7: Grafik dimensi panjang pengukuran *Experiment 2*.

Pada Gambar 7 menjelaskan bahwa terdapat perbedaan nilai pengukuran (Z_{aktual}) dari 4 *sample* yang dilakukan. Dapat dilihat bahwa hasil pengukuran panjang pemakanan dari *sample* ke-1, ke-2 dan ke-3 signifikan naik mendekati nilai Z_{end} dan pada *sample* ke-4 menunjukkan hasil yang sangat mendekati Z_{end} .

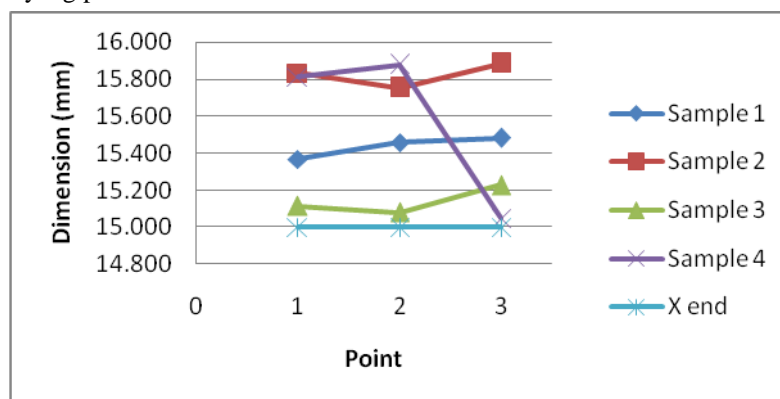
3.3 Data Pengukuran Program *Experiment 3*.

Hasil pengukuran dimensi panjang dan diameter pada *Experiment* ke 3 (Z_{end} 30 mm X_{end} 15 mm) sebanyak 4 *sample* dapat dilihat pada Tabel 4, Grafik Gambar 8 dan Grafik Gambar 9 sebagai berikut:

Tabel 4: Data Pengukuran *Experiment 3* (Z_{end} 30 mm X_{end} 15 mm).

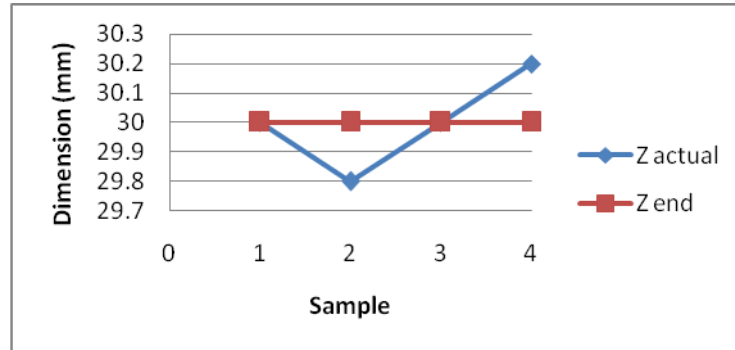
SAMPLE	DIMENSION OF LENGTH (Z) (mm)		DIMENSION OF DIAMETER (X) (mm)			
	Z _{END}	Z _{ACTUAL}	X _{END}	POINT 1	POINT 2	POINT 3
1	30	30	15	15.367	15.458	15.482
2	30	29.8	15	15.834	15.754	15.884
3	30	30	15	15.115	15.081	15.227
4	30	30.2	15	15.811	15.876	15.049
Average	30	30	15	15.532	15.542	15.411

Pada Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran pada *Experiment* ketiga dimana pada Titik 1 rata – rata pengukuran dari 4 benda kerja yaitu sebesar 15,532 mm, Titik 2 sebesar 15,542 mm, Titik 3 sebesar 15,411 mm. *Error* rata-rata terbesar berada pada *point 2*. Pada pengukuran panjang hasil rata – rata yaitu 30 mm menunjukkan hasil yang presisi.



Gambar 8: Grafik Dimensi diameter pada 3 titik pengukuran *Experiment 3*.

Gambar 8 menunjukkan hasil pengukuran terdapat perbedaan nilai pengukuran (Titik 1), (Titik 2) dan (Titik 3). Bahwa pada *sample* ke-1 hasil pengukuran di 3 titik menunjukkan hasil yang stabil tetapi tidak sesuai yang diharapkan yaitu X_{end} . Pada *sample* ke-2 menunjukkan hasil yang stabil dari 3 titik tetapi belum sesuai dengan nilai dimensi tujuan. Pada *sample* ke-3 hasil pengukuran menunjukkan hasil yang stabil pada Titik 1 dan Titik 2 dan hampir mendekati nilai X_{end} tetapi sedikit naik pada Titik 3. Pada *sample* ke-4 pada Titik 3 terlihat mendekati nilai X_{end} tetapi pada Titik 1 dan Titik 2 menjauhi X_{end} .



Gambar 9: Grafik dimensi panjang pengukuran *Experiment 3*.

Pada grafik Gambar 9 menjelaskan bahwa terdapat perbedaan nilai pengukuran (Z_{aktual}) dari 4 *sample* yang dilakukan. Dapat dilihat bahwa hasil pengukuran panjang pemakanan dari *sample* ke-1 dan ke-3 mendekati nilai Z_{end} , *sample* ke-2 nilainya jauh di bawah Z_{end} dan *sample* ke-4 nilainya jauh di atas nilai Z_{end} .

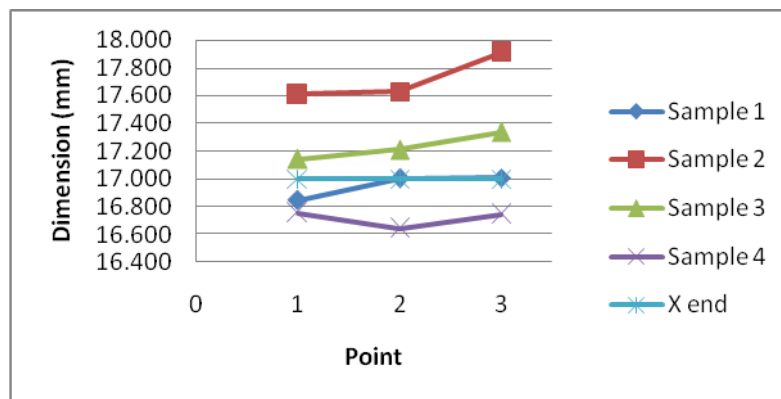
3.4 Data Pengukuran Program *Experiment 4*

Hasil pengukuran dimensi panjang dan diameter pada *Experiment* ke 3 (Z_{end} 30 mm X_{end} 17 mm) sebanyak 4 *sample* dapat dilihat pada Tabel 5, Grafik Gambar 10 dan Grafik Gambar 11 sebagai berikut:

Tabel 5: Data Pengukuran (Z_{end} 30 mm X_{end} 17 mm).

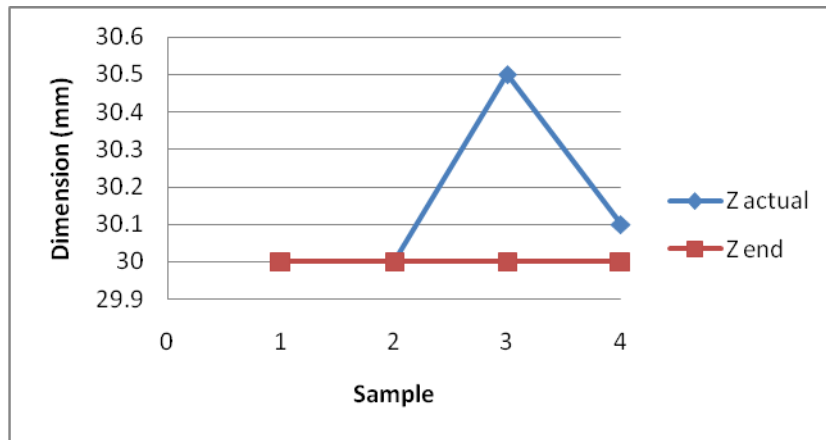
SAMPLE	DIMENSION OF LENGTH (Z) (mm)		DIMENSION OF DIAMETER (X) (mm)			
	Z _{END}	Z _{ACTUAL}	X _{END}	POINT 1	POINT 2	POINT 3
1	30	30	17	16.848	17.004	17.008
2	30	30	17	17.608	17.629	17.913
3	30	30.5	17	17.142	17.210	17.337
4	30	30.1	17	16.753	16.645	16.745
Average	30	30.15	17	17.088	17.122	17.251

Pada Tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran diameter pada program *Experiment* keempat dimana pada Titik 1 rata – rata pengukuran dari 4 benda kerja yaitu sebesar 17,088 mm, Titik 2 sebesar 17,122 mm, Titik 3 sebesar 17,251 mm. *Error* terbesar rata-rata pada point ke 3. Pada pengukuran panjang hasil rata-rata yaitu 30,15 mm.



Gambar 10: Grafik Dimensi diameter pada 3 titik pengukuran *Experiment 4*.

Gambar 10 menunjukkan hasil pengukuran dimensi diameter yang terdapat perbedaan nilai pengukuran (Titik 1), (Titik 2) dan (Titik 3). Pada *sample* ke-1 hasil pengukuran di titik 2 dan Titik 3 titik menunjukkan hasil yang mendekati nilai X_{end} . Pada *sample* ke-2 menunjukkan hasil yang stabil pada Titik 1 dan Titik 2 tetapi tidak mendekati nilai X_{end} . Pada *sample* ke-3 hasil pengukuran menunjukkan hasil yang stabil mendekati nilai X_{end} . Pada *sample* ke-4 nilainya masih terlalu jauh dari X_{end} .



Gambar 11: Grafik dimensi panjang pengukuran *Experiment 4*.

Pada grafik Gambar 11 menjelaskan bahwa terdapat perbedaan nilai pengukuran (Z_{aktual}) dari 4 *sample* yang dilakukan. Dapat dilihat bahwa hasil pengukuran dari *sample* ke-1 dan ke-2 mendekati nilai Z_{end} , *sample* ke-3 nilainya jauh di atas Z_{end} sehingga terlihat signifikan naik tinggi, *sample* ke-4 menunjukkan penurunan hampir mendekati nilai Z_{end} .

3.1 Rata – rata Persentase Error Dimensi Diameter dan Panjang

Pada 4 *Experiment* pengujian data, perhitungan rata – rata persentase *error* dari pengukuran dimensi diameter dan panjang dapat dilihat pada Tabel 6.

Perhitungan nilai persentase *error* yaitu sebagai berikut:

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{DT-DA}{DT} \right| \times 100\% \tag{1}$$

Keterangan : DT (Dimensi Tujuan)

DA (Dimensi Aktual)

Tabel 6: Rata – rata persentase *error* dimensi diameter dan panjang.

EXPERIMENTS	DIMENSION (mm)		% ERROR OF DIMENSION	
	Z _{END}	X _{END}	DIAMETER (X)	LENGTH (Z)
1	20	15	1	0.25
2	20	17	0.992	0.5
3	30	15	3	0.333
4	30	17	2	0.5
Average			1.84025	0.39575

Rata – rata persentase *error* hasil pengukuran dimensi diameter pada benda kerja adalah 1,840 % sehingga mendapatkan kepresisian mesin adalah:

$$\text{Kepresisian mesin} = 100 \% - 1,840 \% = 98,160 \%$$

Jadi hasil perhitungan berdasarkan pengujian mesin yang dilakukan terhadap 16 benda kerja pada gambar 12 dengan 4 jenis program *Experiment* yang berbeda maka didapatkan hasil kepresisian sebesar 98,160 % .

Rata – rata persentase *error* hasil pengukuran dimensi panjang pemakanan pada benda kerja adalah 1,840 % sehingga kepresisian mesin adalah:

$$\text{Kepresisian mesin} = 100 \% - 0,396 \% = 99,604 \%$$

Jadi hasil perhitungan berdasarkan pengujian mesin yang dilakukan terhadap 16 benda kerja pada gambar 12 dengan 4 jenis program Experiment yang berbeda maka didapatkan hasil kepresisian sebesar 99,604 %.



Gambar 12: Hasil pembubutan 16 spesimen.

4. KESIMPULAN

Rata-rata dimensi benda kerja yang di bubut dengan mesin CNC Lathe mini *Custom* pada program *Experiment* pembubutan diameter 15 mm adalah 15,336 mm, dan untuk program pembubutan diameter 17 mm adalah 17,099 mm. Rata-rata tingkat kepresisian program pembubutan panjang pemakanan 20 mm adalah 20,00 mm dan untuk pemakanan panjang 30 mm adalah 30,08 mm.

Mesin bubut CNC mini yang dibuat memiliki tingkat persentase *error* pada sumbu X sebesar 1,840 % sehingga tingkat kepresisian mesin CNC Lathe mini *Custom* adalah 98,160 %. Pada sumbu Z persentase *error* sebesar 0,396 % sehingga tingkat kepresisian mesin bubut semi CNC mini adalah 99,604 %.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. T. NEWMAN *et al.*, “Strategic advantages of interoperability for global manufacturing using CNC technology,” *Robot. Comput.-Integr. Manuf.*, vol. 24, no. 6, pp. 699–708, Dec. 2008, doi: 10.1016/j.rcim.2008.03.002.
- [2] R. E. BREAZ, O. BOLOGA, S. G. RACZ, and M. CRENGANIȘ, “Selecting between CNC turning centers using a combined AHP and fuzzy approach,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 162, pp. 290–297, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.11.287.
- [3] D. DIMITROV and T. SZECSEI, “Machining Accuracy on CNC Lathes under the Lack of Unity of the Process and Design Data,” *Procedia CIRP*, vol. 41, pp. 824–828, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2015.10.001.
- [4] G. B. SILVA, F. J. G. SILVA, R. D. S. G. CAMPILHO, and R. M. GOUVEIA, “Designing a Novel Feeding System for CNC Turning Machines,” *Procedia Manuf.*, vol. 17, pp. 1144–1153, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.020.
- [5] S. IRFAN and R. RUSIYANTO, “Perancangan CNC Plasma Cutting Menggunakan Software Autodesk Inventor 2015,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 1–10, May 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.01.1.
- [6] A. WINARNO, S. LASIYAH, B. TULUNG PRAYOGA, I. ARIS HENDARYANTO, and F. X. SUKIDJO, “Development of Accuracy Evaluation Method for Open Loop Educational CNC Milling Machine,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 217–225, May 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.01.23.
- [7] B. YANG, G. ZHANG, Y. RAN, and H. YU, “Kinematic modeling and machining precision analysis of multi-axis CNC machine tools based on screw theory,” *Mech. Mach. Theory*, vol. 140, pp. 538–552, 2019, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2019.06.021.
- [8] M. ABD-ALRAZZAQ, M. H. AHMED, and M. A. YOUNES, “A computer numerical control (CNC) multi-pass spinning solution to a center lathe retrofit,” *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–15, Jan. 2019, doi: 10.1007/s42452-018-0007-x.

- [9] J. HERWAN, S. KANO, O. RYABOV, H. SAWADA, N. KASASHIMA, and T. MISAKA, “Retrofitting old CNC turning with an accelerometer at a remote location towards Industry 4.0,” *Manuf. Lett.*, vol. 21, pp. 56–59, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.mfglet.2019.08.001.
- [10] N. SATHYAKUMAR, K. PRASATH BALAJI, R. GANAPATHI, and S. R. PANDIAN, “A Build-Your-Own Three Axis CNC PCB Milling Machine,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 11, pp. 24404–24413, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.10.236.
- [11] E. KURNIAWAN, SYAIFURRAHMAN, and B. JEKKY, “Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis,” *J. Engine Energi Manufaktur Dan Mater.*, vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.30588/jeemm.v4i2.769>.
- [12] W. LAPSOMTHOP, N. WONGSIRIRAX, A. KITITEERAKOL, and W. SAWANGSRI, “Design and experimental investigation on 3- component force sensor in mini CNC milling machine,” *Mater. Today Proc.*, vol. 17, pp. 1931–1938, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.06.232.
- [13] L. PAN, X. GUO, Y. LUAN, and H. WANG, “Design and realization of cutting simulation function of digital twin system of CNC machine tool,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 183, pp. 261–266, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.02.057.
- [14] P. B. PRAKASH, K. B. RAJU, K. V. SUBBAIAH, P. C. KRISHNAMACHARY, N. MANIKANDAN, and V. RAMYA, “Application of Taguchi based Grey Method for Multi Aspects Optimization on CNC Turning of AlSi7 Mg,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 6, pp. 14292–14301, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.03.011.
- [15] M. VIJAY KUMAR, B. J. KIRAN KUMAR, and N. RUDRESHA, “Optimization of Machining Parameters in CNC Turning of Stainless Steel (EN19) By TAGUCHI’S Orthogonal Array Experiments,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 5, pp. 11395–11407, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.02.107.
- [16] L. SELAK and D. BRACUN, “Evaluation of localization systems for CNC machining of large FRPC parts,” *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 844–849, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.03.210.