

## DESAIN DAN UNJUK KERJA ALAT KALIBRASI KETEGAKLURUSAN SPINDEL DAN MEJA PADA MESIN *MILLING* TURRET

Zuingli Santo Bandaso  
Politeknik ATI Makassar  
zuinglibandaso@atim.ac.id

### ABSTRAK

Kualitas produk yang dihasilkan melalui proses pengfraisan khususnya bentuk profil permukaan benda kerja diantaranya kerataan permukaan serta kekasaran permukaan selain ditentukan oleh pemilihan Parameter pemotongan yang tepat, profil pahat dan getaran mesin juga ditentukan oleh penyettingan ketegaklurusan antara spindel pahat dan meja kerja khususnya pada mesin *milling* jenis Turret. Beberapa alat bantu yang umumnya digunakan untuk mengkalibrasi ketegaklurusan ini memiliki keterbatasan baik itu dari segi waktu penyettingan yang lama ataupun dari segi tingkat keakurasian yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain sebuah alat bantu yang digunakan untuk mengkalibrasi ketegaklurusan antara antara spindel dan meja kerja mesin *milling* tipe Turret yang dapat mengatasi keterbatasan dari alat sebelumnya. Metodologi penelitian dimulai dari desain dan pembuatan alat bantu kalibrasi, kemudian melakukan pengujian unjuk kerja alat dengan alat sebelumnya antara lain waktu penyettingan serta kualitas profil permukaan yang dihasilkan dari pemotongan dengan menggunakan peralatan surface roughness tester. Dari hasil penelitian ini dibuat alat bantu kalibrasi ketegaklurusan spindel dan meja kerja pada mesin *milling* dengan menggunakan 2 buah dial indikator yang memiliki jangkauan Jarak maksimum antara dial indikator yakni 138 mm yang disesuaikan dengan dimensi meja mesin untuk dijepit pada collet arbor pada spindel mesin. Waktu rata-rata penyetelan menggunakan alat ini yakni 4,67 detik jauh lebih cepat dibanding menggunakan Metode kalibrasi dengan satu dial indikator dengan kekasaran permukaan pada pengukuran arah (P),  $R_a = 0,595 \mu\text{m}$  dan pada arah pengukuran (M),  $R_a = 1,021 \mu\text{m}$ . Besarnya amplitudo tertinggi akibat penyimpangan kemiringan pahat yakni disekitar  $4,5 \mu\text{m}$ . Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan alat bantu kalibrasi dengan menggunakan 2 dial indikator lebih efektif dari segi waktu penyettingan dengan tingkat keakurasian yang sama dengan penggunaan single dial indikator.

**Kata kunci:** Kualitas geometrik, kekasaran permukaan, ketegaklurusan, kalibrasi, profil permukaan.

### ABSTRACT

The quality of the product produced through the *milling* process, especially the shape of the workpiece surface profile, including surface flatness and surface roughness, apart from being determined by the selection of the right cutting parameters, tool profile and machine vibration, is also determined by the alignment settings between the tool spindle and the workbench, especially on Turret *Milling* Machines. Some tools that are generally used to calibrate this perpendicularity have limitations, both in terms of long setting times or in terms of low accuracy. This study aims to design a tool that is used to calibrate the misalignment between the spindle and the workbench of a Turret *Milling* Machine that can overcome the limitations of the previous tool. The research methodology starts from the design and manufacture of calibration tools, then performs testing of tool performance with previous tools, including setting time and quality of the surface profile resulting from cutting using surface roughness tester equipment. From the results of this study, a Spindle and Workbench Straightness Calibration tool was made on the *Milling* Machine using 2 Dial indicators that have a maximum distance range between the Dial indicators of 138 mm which is adjusted to the dimensions of the machine table to be clamped on the collet arbor on the machine spindle. The average adjustment time using this tool is 4.67 seconds, much faster than using the calibration method with one Dial Indicator with surface roughness in the measurement direction (P),  $R_a = 0.595 \mu\text{m}$  and in the measurement direction (M),  $R_a = 1.021 \mu\text{m}$ . The highest amplitude due to the deviation of the tool slope is around 4.5  $\mu\text{m}$ . Based on these results, it can be concluded that the use of

calibration aids using 2 Dial Indicators is more effective in terms of setting time with the same level of accuracy as the use of single Dial Indicators.

**Keywords:** Geometric quality, surface roughness, straightness, calibration, surface profile.

## PENDAHULUAN

Kualitas produk yang dihasilkan melalui proses pengefraisan ditentukan oleh besarnya kualitas geometrik hasil pemotongan yang diijinkan baik itu dalam bentuk toleransi ukuran, toleransi bentuk maupun tingkat kekasaran permukaan benda. Beberapa penelitian telah mengkaji bahwa selain pemilihan parameter pemotongan yang tepat yakni kecepatan potong, kecepatan pemakanan (*feeding*) dan kedalaman pemotongan, serta sudut pahat [1], setting kalibrasi mesin *milling* turut berperan penting dalam menentukan kualitas geometrik hasil pemotongan [2]. Salah satu proses penyettingan kalibrasi pada mesin *milling* yang penting yakni setting ketegaklurusan antara spindel mesin dan meja kerja. Penyimpangan pada penyettingan ini akan berpengaruh pada kerataan permukaan pemotongan serta profil permukaan benda kerja diantaranya yakni kekasaran permukaan dan bentuk profil permukaan yang dihasilkan [4] – [6].

Jenis mesin *milling* Turret merupakan jenis mesin *milling* yang potensi penyimpangan ketegaklurusan antara head dan meja kerja sangat tinggi karena jenis mesin ini memang dirancang memiliki head yang dapat dimiringkan baik ke depan, ke belakang atau dimiringkan ke kiri ataupun ke kanan sesuai jenis pengerjaan yang akan dilaksanakan. Getaran mesin dan gaya pemotongan akan mengakibatkan kendurnya baut penyetel head yang dapat menggeser head mesin *milling* pada satu periode waktu tertentu.

Pengkalibrasian ketegaklurusan spindel head dan meja mesin tidak dapat mengandalkan pengaturan skala yang ada pada mesin *milling* saja karena potensi penyimpangannya sangat besar. Dua metode yang biasa digunakan dalam proses pengkalibrasian antara lain : yang pertama dengan menggunakan single dial indikator yang dijepit pada spindel mesin *milling* dan kedua dengan penggunaan cylinder square [7]. Kedua metode ini memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing dimana metode pertama membutuhkan waktu penyettingan yang cukup lama namun memiliki tingkat keakurasian yang tinggi, sedangkan untuk metode kedua membutuhkan waktu penyettingan yang cukup singkat namun memiliki tingkat keakurasian yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun suatu alat kalibrasi ketegaklurusan spindel head dengan meja kerja mesin *milling* dengan waktu penyettingan yang singkat serta memiliki tingkat keakurasian yang tinggi.

## METODE PENELITIAN

### Material, desain dan pembuatan alat

Objek yang digunakan sebagai dasar penentuan dimensi dan rancangan alat bantu kalibrasi yakni mesin *milling* turret cia mix model SP-3T dimana dimensi alat akan ditentukan oleh dimensi meja mesin *milling*. Material yang digunakan sebagai bahan pembuatan alat yakni material aluminium pejal berbentuk silindris AA6061 dan material besi As silindris St.60. Proses pembuatan alat dilakukan menggunakan mesin perkakas seperti mesin bubut, mesin *milling* serta mesin bor.

### Pengujian unjuk kerja alat

Pengujian unjuk kerja alat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar performansi alat yang dibuat dalam mengkalibrasi ketegaklurusan spindel terhadap meja mesin *milling* dalam hal ini disebut metode 2 (gambar 5), kemudian membandingkan dengan metode kalibrasi melalui penyettingan dengan skala 0 yang terdapat pada pemutar mesin *milling* atau disebut metode 1 (gambar 1a.) dan juga dengan metode 3 yakni, kalibrasi menggunakan single dial indikator ( gambar 1b). Pada penelitian ini penyetulan hanya dilakukan pada arah sumbu x mesin. Unjuk kerja setiap metode kalibrasi akan diukur menurut waktu penyettingan dan tingkat kekasaran permukaan benda kerja uji hasil pemotongan.



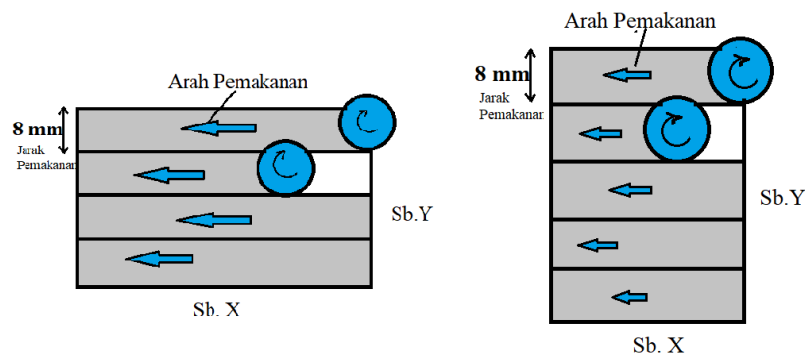
**Gambar 1.** Metode kalibrasi ketegaklurusan spindel terhadap meja kerja pada mesin *milling*

### Material benda uji dan pahat potong

Untuk menjamin keseragaman hasil pemotongan maka dipilih material aluminium A6061 yang merupakan bahan yang cukup lunak yang diharapkan dapat menjamin umur pahat selama proses pengujian. Material aluminium yang digunakan berbentuk balok dengan ukuran 30 x 30 x 50 mm. Adapun Pahat potong yang digunakan dalam proses pengefraisan menggunakan pahat jenis End mill dengan diameter 10 mm. Pemilihan diameter pahat tersebut guna melihat karakteristik batas pemotongan setiap jalannya pahat.

### Pemilihan parameter pemotongan

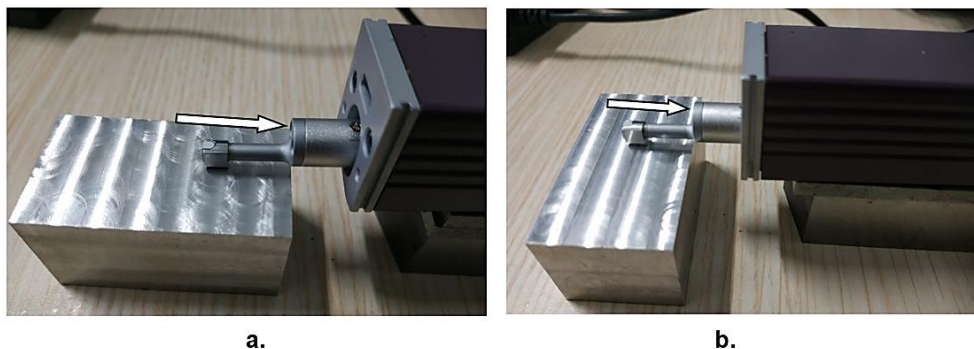
Besarnya feeding yang diberikan pada setiap pemotongan yakni 76 mm/menit dengan putaran spindle yang diberikan sebesar 660 rpm sedangkan kedalaman pemotongan adalah 1 mm. Pemotongan yang diberikan adalah face *milling* dengan tipe pemakanan *conventional milling*. Jarak antara satu pemotongan dengan pemotongan sisi berikutnya kurang lebih 8 mm untuk menjamin keseragaman alur pemotongan. Pemakanan pahat hanya satu arah saja yakni kedepan guna menjamin keseragaman arah profil permukaan benda kerja hasil pemotongan. Pada setiap metode kalibrasi akan disediakan 2 jenis material dengan arah pemotongan yang berbeda, yakni arah pemotongan pada arah sumbu x dan arah pemotongan pada arah sumbu y, hal ini untuk melihat penyimpangan kemiringan spindle pada arah pemotongan sumbu x dan sumbu y (gambar 4)



Gambar 2. Arah pergerakan dan pemakanan pahat terhadap benda kerja

### Pengukuran kekasaran permukaan

Pengukuran kekasaran permukaan menggunakan roughness tester digital portable merek mitotuyo SJ-310 0,75 mN, dilakukan pada permukaan hasil pemotongan setiap metode pengkalibrasian. arah pergerakan stylus tegak lurus dengan arah pemotongan dan diupayakan melewati garis batas alur pemotongan, hal ini dilakukan karena pada garis batas pemotongan terdapat amplitudo tertinggi dan terendah pada pengukuran kekasaran permukaan sebagai akibat penyimpangan kemiringan pahat .



Gambar 3. Arah pergerakan stylus pada proses pengukuran kekasaran permukaan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

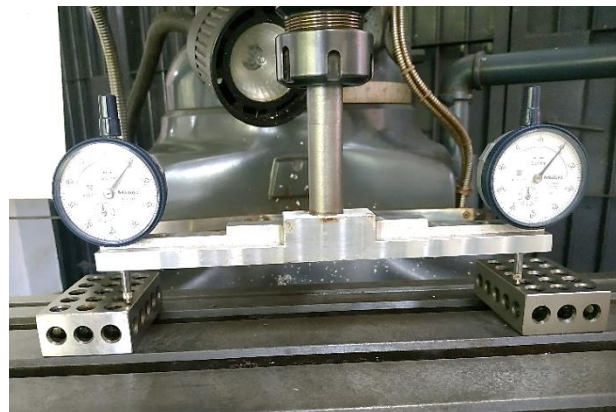
### Pembuatan Alat

Berikut adalah hasil perancangan alat bantu kalibrasi ketegaklurusan spindel dan meja kerja pada mesin *milling turret*.



**Gambar 4.** Desain alat bantu kalibrasi ketegaklurusan spindel dan meja kerja pada mesin *milling turret*

Prinsip kerja dari alat ini yaitu poros penghubung (3) dijepit pada collet arbor yang terpasang pada spindel mesin *milling*, kemudian meja mesin *milling* dinaikkan hingga menyentuh kedua titik kontak dial indikator (2) kalibrasi kesejajaran dial indikator di atur dengan mengatur ketinggian stem dial lalu menguncinya dengan mur penyetel ketinggian dial indikator (4). Penyettingan kedudukan spindel mesin *milling* terhadap meja mesin selesai saat kedua jarum penunjuk pada dial indikator telah menunjukkan angka yang sama.



**Gambar 5.** Metode penggunaan alat bantu kalibrasi ketegaklurusan spindel dan meja kerja pada mesin *milling turret*.

Spesifikasi konstruksi mekanik dari alat bantu kalibrasi ketegaklurusan spindel dan meja kerja pada mesin *milling turret* yaitu, jarak maksimum antara dial indikator yakni 230 mm dan maksimum 138 mm. Besar *run out* minimal yang bisa dibaca oleh alat yakni 0,01 mm sesuai dengan ketelitian dial indikator yang terpasang, penyimpangan kesejajaran antara kedua dial indikator sebelum pengkalibrasian yakni 0,22 mm.

### Unjuk Kerja alat

Unjuk kerja alat kalibrasi ketegaklurusan spindel terhadap meja kerja mesin *milling turret* diperoleh dengan membandingkan waktu penyetelan serta kekasaran permukaan yang diperoleh setelah pemotongan untuk masing-masing metode penyetelan yang digunakan (Tabel 1). Dari segi lamanya waktu penyetelan dalam arah sumbu X terlihat bahwa waktu penyetelan dengan menggunakan metode 3 dalam hal ini penggunaan single dial indikator membutuhkan waktu rata-rata yang paling lama diantara kedua metode lainnya yaitu 14,24 detik, Waktu penyetelan yang lebih lama biasanya pada arah sumbu Y akibat ketidak sejajaran pivot dengan sumbu spindel mesin. Waktu penyetelan yang tercepat yakni 2,73 detik menggunakan metode 1, karena indikator penyetelan hanya pada kesejajaran garis "0" skala penyetelan mesin. Penggunaan alat bantu kalibrasi yang di buat pada penelitian ini (metode 2) memiliki waktu penyetelan sedikit lebih lama dibanding metode 1 yakni, 4,67 detik.

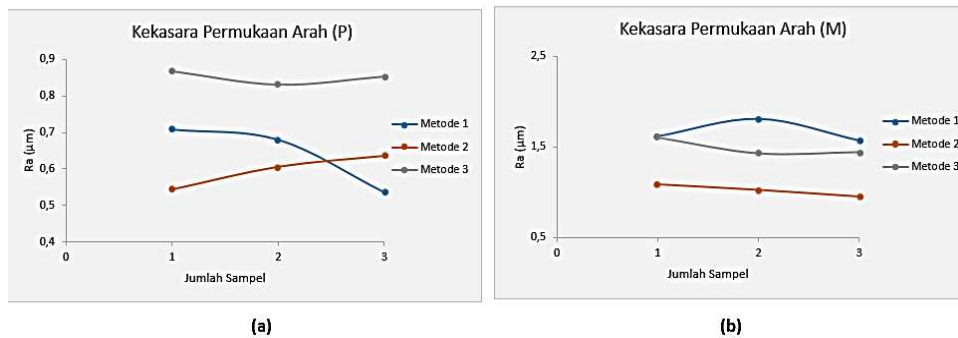
**Tabel 1.** Pengambilan data kekasaran dan waktu penyetulan ketegaklurusan spindle terhadap meja kerja mesin *milling*

Pengukuran Arah P												
	Metode 1				Metode 2				Metode 3			
	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rq ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	t(menit)	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rq ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	t(menit)	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rq ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	t(menit)
1	0,709	0,927	4,36	2,39	0,544	0,644	2,99	4,6	0,867	1,016	4,132	12,52
2	0,681	0,841	3,852	3,2	0,606	0,736	3,35	4,29	0,831	0,994	4,316	15,4
3	0,537	0,723	3,601	2,6	0,636	0,784	3,485	5,12	0,853	1,004	4,282	14,8
R	0,642	0,83	3,938	2,73	0,595	0,721	3,275	4,67	0,85	1,005	4,243	14,24

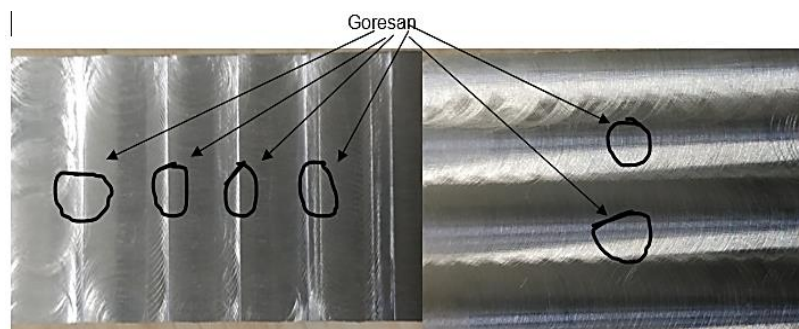
Pengukuran Arah M												
	Metode 1				Metode 2				Metode 3			
	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rq ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	t(menit)	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rq ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	t(menit)	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rq ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	t(menit)
1	1,616	2,111	9,938	2,39	1,083	1,342	5,779	4,6	1,609	1,988	8,09	12,52
2	1,814	2,354	11,29	3,2	1,025	1,267	5,902	4,29	1,429	1,709	6,281	15,4
3	1,569	1,984	9,464	2,6	0,955	1,164	5,256	5,12	1,444	1,769	7,137	14,8
R	1,666	2,15	10,23	2,73	1,021	1,258	5,646	4,67	1,494	1,822	7,169	14,24

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan pada permukaan benda kerja yang dipotong pada mesin *milling* dengan menggunakan metode 2 (penggunaan alat bantu kalibrasi) memiliki nilai kekasaran permukaan paling kecil baik pada arah pengukuran (P) maupun pada arah pengukuran M yaitu  $R_a = 0,59 \mu\text{m}$  dan  $R_a = 1,021 \mu\text{m}$ , kemudian disusul dengan metode ke 3 yakni menggunakan Single dial Indikator dengan nilai kekasaran pada arah Pengukuran (P),  $R_a = 0,642 \mu\text{m}$  dan pada arah pengukuran (M),  $R_a = 1,49 \mu\text{m}$ . Nilai Kekasaran paling tinggi terdapat pada metode pertama pada arah (P),  $R_a = 0,85 \mu\text{m}$  dan pada arah (M),  $R_a = 1,67 \mu\text{m}$ .

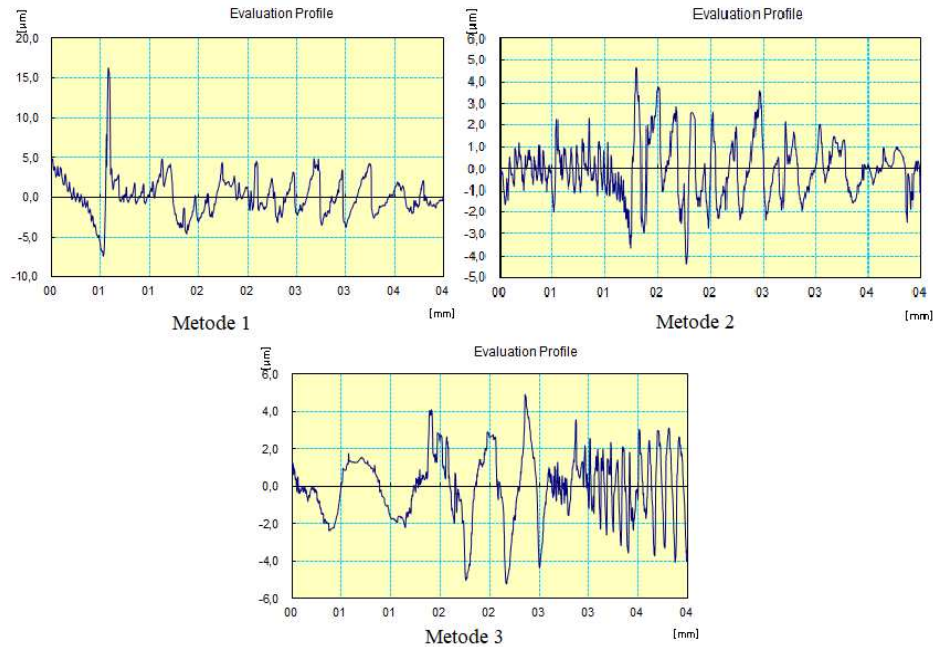


**Gambar 6.** Grafik hubungan antara kekasaran permukaan dengan jenis metode penyetulan

Nilai kekasaran yang paling besar diperoleh pada metode 1 terjadi akibat terdapatnya goresan pada jalur batas pemakanan pahat dengan pemakanan pahat pada pemotongan berikutnya akibat kemiringan pahat terhadap benda kerja ( Gambar 7), hal ini mengakibatkan amplitudo paling tinggi pada batas ini yang mempengaruhi rata-rata nilai kekasaran yang diperoleh. Gambar 8 memperlihatkan profil goresan pada batas jalur pemotongan pahat. Ketinggian amplitudo terendah terdapat pada penyetulan metode 2 disekita  $4,5 \mu\text{m}$  dan metode 3 yakni sekitar  $5 \mu\text{m}$  hal ini menunjukkan unjuk kerja pemotongan *face Milling* dengan penggunaan alat bantu kalibrasi dengan indikator profil permukaan pemotongan sangat baik dibanding dua metode lainnya. Hal ini terjadi karena selama proses penyetulan tidak ada pergeseran dial indikator dari posisi satu ke posisi lainnya seperti metode penyetulan yang digunakan pada metode 3 yang berakibat terjadinya pergeseran dial indikator yang tidak disadari selama proses penyetulan.



**Gambar 7.** Profil Pemotongan akibat kemiringan pahat dengan metode 1



**Gambar 8 .** Profil kekasaran permukaan pemotongan pada masing-masing metode penyetelan

### KESIMPULAN

Alat bantu kalibrasi ketegaklurusan spindel dan meja kerja pada mesin *milling* memiliki jangkauan Jarak maksimum antara Dial indikator yakni 230 mm dan maksimum 138 mm, dengan penyimpangan kesejajaran 0,22 mm yang dapat dikalibrasi dengan adanya baut penyetel pada stem dial indikator. Waktu rata-rata penyetelan menggunakan alat ini yakni 4,67 detik jauh lebih cepat dibanding menggunakan metode kalibrasi dengan satu dial indikator dengan kekasaran permukaan pada pengukuran arah ( P ),  $R_a = 0,595 \mu\text{m}$  dan pada arah pengukuran ( M ),  $R_a = 1,021 \mu\text{m}$ . Besarnya amplitudo tertinggi akibat penyimpangan kemiringan pahat yakni disekitar 4,5  $\mu\text{m}$ , dimana hampir sama dengan penyettingan Metode satu dial indikator. Dari hasil unjuk kerja ini dapat disimpulkan bahwa alat ini memiliki keunggulan dari segi waktu penyettingan dan profil permukaan dalam hal ini kekasaran permukaan dibanding dengan penggunaan metode penyettingan yang lain.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih yang sebesar-besarnya Buat Institusi politeknik ATI makassar Khususnya Rekan-sekeraja pada Workshop Proses produksi dan Laboratorium pengujian material Jurusan Teknik Manufaktur Industri Agro selama proses penelitian.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Susilo DD ,dkk. Pengaruh Sudut Pahat End Mill Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Pengerjaan Frais Permukaan Baja ST 63. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV Universitas Gadjah Mada (UGM)*, Yogyakarta, 16-17 Oktober 2012.
- [2] AR. Siska, dkk. Uji Kelayakan Mesin Frais Type Schaublin 13 Menggunakan Metoda Pengujian Ketelitian Geometrik. *Jurnal Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang*. Volume 1 No.2 . 2018.
- [3] Nguyen Hai Trong,dkk. *Modeling cutter tilt and cutter-spindle stiffness for machine condition monitoring in face Milling using high-definition surface metrology*. Springer-Verlaac London . DOI 10.1007/s00170-013-5347-5. 2013.
- [4] wojciechowski Szymon dkk. Surface Texture Analysis After Ball End Milling With Various Surface Inclination Of Hardened Steel. *Metrology and Measurement Systems,Jurnal*. Volume XXI,No.1, pp 145-156. 2014.
- [5] F.Gu, dkk. A Model for the Prediction of Surface Flatness in Face Milling. *Journal Of Manufacturing Science and Engineering*. Vol.119, pp 476 -484. 2012.
- [6] Bloul Benattia,dkk. Geometric analysis of the influence of perpendicularity of a spindle axis of the Milling machine on the surface quality. *Advance in Mechanical Engineering Journal*. Vol.9(4) 1-8.2017.
- [7] Apriana Asep,dkk. Analisa kelayakan mesin milling F3 dengan pengujian ketelitian geometrik. *Jurnal Politeknologi* Vol.14 No.3 September 2015.