

Pembuatan *Horizontal Spindle Test bar* pada Mesin Frais Aciera F3

Risky Ayu Febriani, Novi Saksono, Rian Arianda Wijaya, Herman Budi Harja

Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

Email: riskyayu@me.polman-bandung.ac.id

Informasi Artikel:

Received:
29 Februari 2024

Accepted:
01 April 2024

Available:
28 Juni 2024

ABSTRAK

Test bar merupakan suatu alat yang mewakilkan suatu sumbu yang akan diuji posisinya terhadap elemen-elemen mesin yang lain maupun gerakan sumbu itu terhadap posisinya sendiri. Dengan adanya *test bar* sebagai alat bantu yang presisi, geometri sebuah mesin dapat diketahui nilai penyimpangannya. Dalam tahapan awal pembuatan *spindle test bar* yaitu menentukan desain sesuai standar ISO 230-1:1996, buku *machine testing tools* dan mengobservasi secara langsung terhadap Mesin Frais Aciera F3. Tahapan-tahapan pembuatan *spindle test bar* terdiri dari beberapa proses permesinan seperti proses bubut, perlakuan panas dan proses gerinda, pengecekan kualitas, serta pengujian. Hasil pengecekan kualitas didapatkan bahwa terdapat 4 dimensi aktual masuk batas toleransi dan 3 dimensi aktual lainnya memiliki ukuran diluar batas toleransi, tetapi ukuran diluar batas tersebut tidak berpengaruh terhadap fungsi dari benda kerja yang dibuat, sehingga alat kalibrasi ini masih bisa digunakan. Untuk pengujian *spindle test bar* pada objek Mesin Frais Aciera F3 terdapat penyimpangan pada eksentrisitas dan kesejajaran dengan meja arah melintang secara berurutan sebesar 0,030 mm dan 0,011 mm.

Kata Kunci:

Test bar
Kalibrasi
Geometri
Mesin Frais Aciera F3
Toleransi

ABSTRACT

A test bar is a tool that represents an axis whose position will be tested relative to other machine elements as well as the movement of the axis relative to its own position. With a test bar as a precision tool, the deviation value of a machine's geometry can be determined. In the initial stages of making the spindle test bar, namely determining the design according to ISO 230-1:1996 standards, machine testing tools books and directly observing the Aciera F3 Milling Machine. The stages of making a test bar spindle consist of several machining processes such as the lathe process, heat treatment and grinding process, quality checking, and testing. The results of the quality check showed that there were 4 actual dimensions within the tolerance limits and 3 other actual dimensions had sizes outside the tolerance limits, but sizes outside these limits had no effect on the function of the workpiece being made, so this calibration tool could still be used. For testing the spindle test bar on the Aciera F3 Milling Machine object, there were deviations in eccentricity and parallelism with the transverse direction table of 0.030 mm and 0.011 mm, respectively.

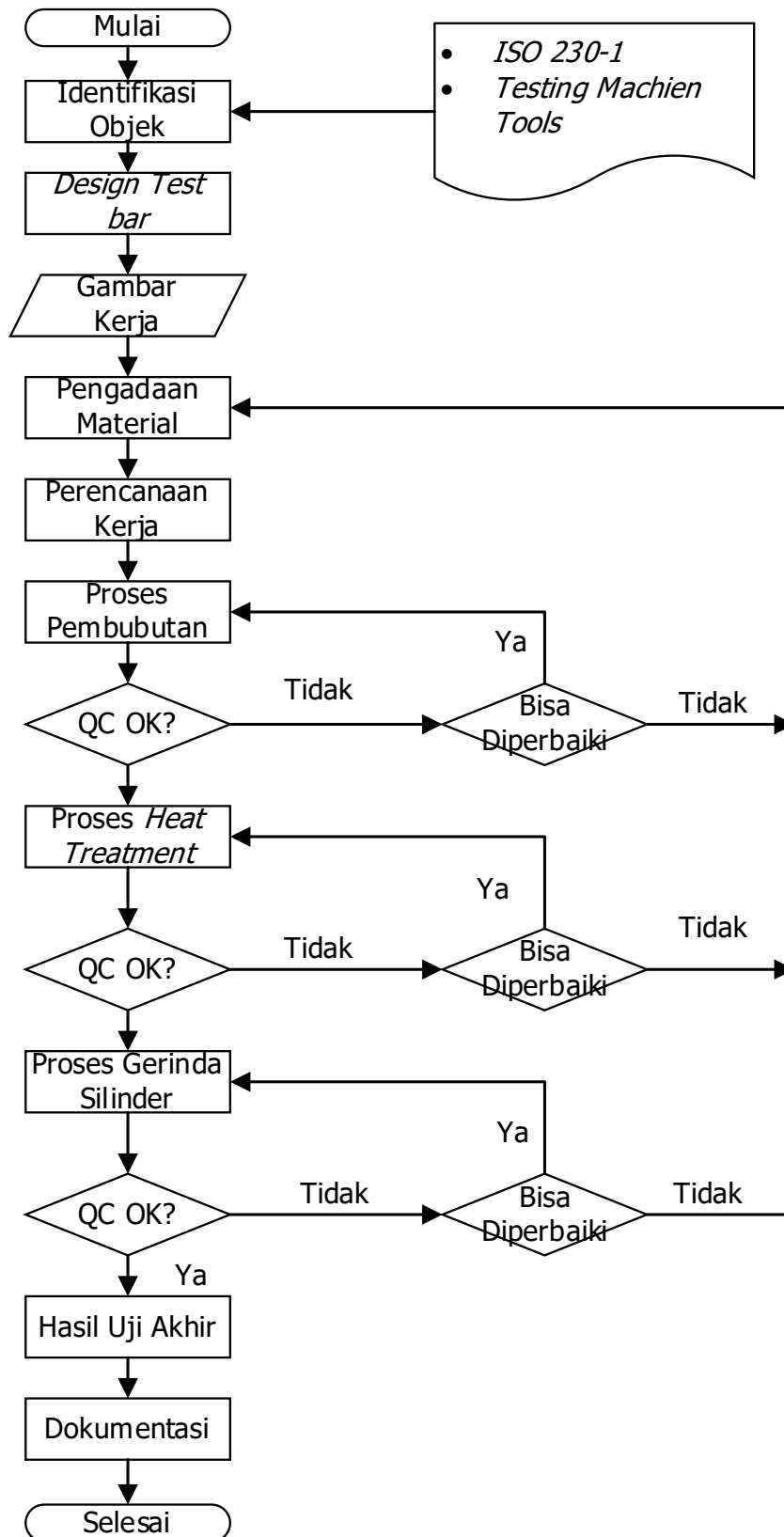
1 PENDAHULUAN

Dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang terus berlanjut dan mempengaruhi industri secara global, persaingan kualitas produk di pasar bebas semakin meningkat. Hal ini mendorong perlunya peningkatan akuntabilitas dalam sistem pengujian produk industri, baik dari segi metode maupun ketelitian [1]. Semua perangkat yang terkait dengan kualitas produk harus tetap memenuhi standar, salah satunya kepresisian mesin. Produk yang dihasilkan oleh mesin perkakas sangat tergantung pada akurasi dan konsistensi mesin tersebut. Oleh karena itu, kegiatan kalibrasi menjadi penting agar mesin dapat menyesuaikan dan memperbaiki performanya sesuai dengan standar yang ditetapkan. Mesin yang dikalibrasi dengan baik dapat memberikan hasil produksi yang akurat dan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Proses kalibrasi ini juga akan menentukan kelayakan operasional suatu mesin perkakas melalui pengujian karakteristik geometrik statik [2]. Alat bantu kalibrasi seperti *test bar*, digunakan sebagai referensi atau benda uji untuk memverifikasi akurasi sebuah mesin perkakas dengan pengujian tertentu [3]. *Test bar* adalah master untuk memeriksa keselarasan sumbu dan *runout* dengan mesin atau spindle *presetter* [4].

Masing-masing mesin perkakas memiliki *test bar* tersendiri, karena *test bar* tersebut dipasang dan diposisikan pada bagian *spindle* atau *tailstock* mesin yang mempunyai ketirusan serta lubang berbeda untuk setiap mesinnya. Proses kalibrasi dilakukan pada mesin perkakas setiap pelaksanaan *preventive maintenance*, salah satunya pada Mesin Frais Aciera F3 yang digunakan rutin oleh mahasiswa dalam melaksanakan praktek di Polman Bandung. Berdasarkan penggunaan yang rutin tersebut, jenis perawatan *preventive maintenance* diterapkan dengan maksud mencegah kemungkinan kerusakan yang tidak terduga dan mendeteksi kondisi atau situasi yang dapat menyebabkan mesin frais tersebut mengalami kerusakan saat digunakan dalam program praktik [5]. Proses kalibrasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mencapai kondisi yang layak pakai dan menjamin ketelitian, dengan maksud mendukung peningkatan mutu. Fungsinya secara khusus berperan sebagai standar untuk menjamin akurasi mesin tersebut saat digunakan [6]. Saat ini kebutuhan *test bar* kalibrasi di Polman Bandung diperoleh dari impor, padahal pembuatan *test bar* memungkinkan dilakukan secara mandiri. Jenis *test bar* yang dibuat pada penelitian ini adalah *test bar* yang memeriksa kesejajaran *spindle* terhadap gerakan kepala tetap, sehingga *test bar* memiliki bentuk *taper* pada salah satu ujungnya untuk dimasukkan ke dalam *spindle* mesin yang akan diuji dan badan silinder yang digunakan sebagai referensi untuk pengukuran. *Test bar* ini dirancang mengacu pada *shank spindle* pada Mesin Frais Aciera F3 dan standar ISO 230-1:1996 dan buku *machine testing tools* yang merupakan standar untuk pengujian ketelitian geometrik mandrel dengan salah satu ujung berbentuk *taper* [7] [8]. Adapun tahapan proses pembuatan *test bar* terdiri dari proses permesinan, perlakuan panas, pengendalian mutu dan pengujian pada objek mesin. Hasil pengujian *test bar* pada Mesin Frais Aciera F3 akan memberikan indikasi ketelitian mesin bahwa mesin tersebut perlu direkondisi ulang atau tidak untuk nantinya dapat menghasilkan mutu produk yang baik [8].

2 METODOLOGI PENELITIAN

Adapun langkah-langkah dalam proses pembuatan *spindle test bar* Mesin Aciera F3 yaitu seperti diagram alir pada gambar 1. Metode penelitian dan pengembangan diterapkan pada pembuatan *test bar* ini, karena ini merupakan produk pengembangan khusus yang dibuat berdasarkan kebutuhan untuk menyelesaikan masalah tertentu [9] [10].

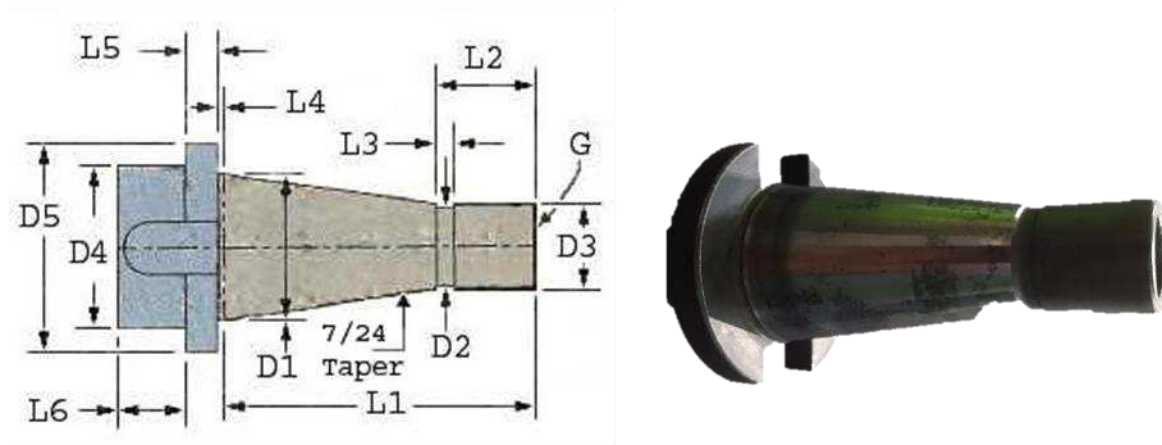


Gambar 1. Skema Pembuatan *Spindle Test bar*

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perancangan *Spindle Test bar*

Identifikasi objek yang dilakukan pada penelitian ini mendukung dalam penentuan rancangan *spindle test bar*, sehingga sebelum menghasilkan desain sesuai kebutuhan, Mesin Frais Aciera F3 diamati secara langsung pada bagian *horizontal spindle*. Kemudian, standar ISO 230-1:1996 dan buku *machine testing tools* digunakan untuk literatur bentuk, ukuran dan toleransi *spindle test bar* yang disesuaikan juga dengan standar kalibrasi pada Mesin Frais Aciera F3.



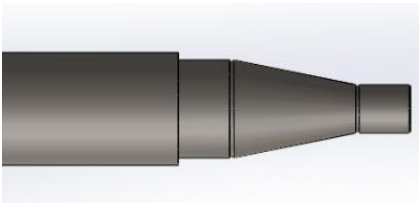
Gambar 2. Arbor *Spindle* Mesin Frais Aciera F3

Gambar 2 menunjukkan arbor *spindle* Mesin Frais Aciera F3 yang dijadikan acuan bentuk dan ukuran salah satu ujung *test bar* yaitu *taper shank horizontal spindle*, dimana didapatkan ukuran standar *Taper ISO 30*. Pengukuran dilakukan pada objek arbor langsung dan membandingkannya dengan standar tabel ANSI B5.18 katalog 7060. Tabel 1 dan tabel 2 berikut secara berturut-turut merupakan ukuran adaptor *Taper ISO 30* dan desain *taper shank spindle test bar*.

Tabel 1. Ukuran Adaptor Arbor *Taper ISO 30*

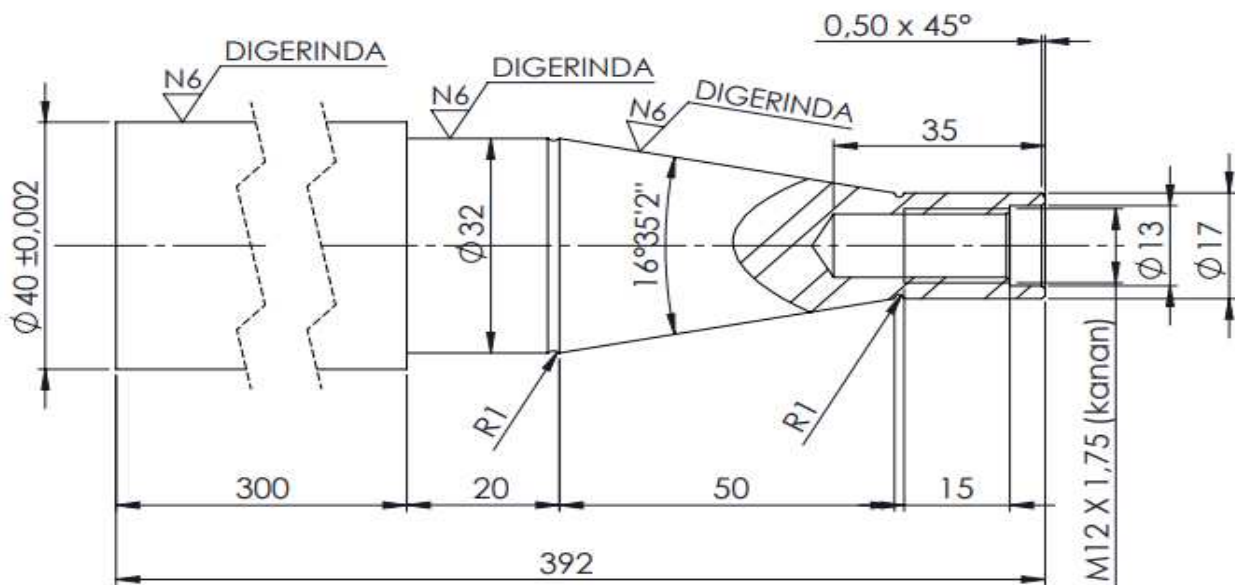
D	d	L	Taper
31.75	17.09	47.76	16°35'02"

Tabel 2. Desain *Taper Shank Spindle Test bar*

Desain Arbor	Desain <i>Taper Shank</i> setelah Pengerjaan pada <i>Solidwork</i>
	

Tabel 3. Jenis Silinder [8]

Panjang Keseluruhan L mm	Diameter Luar D mm	Diameter Dalam d mm	Akurasi		Permukaan Akhir
			Variasi Diameter Maksimum mm	Run-out Maksimum mm	
$150 \leq L \leq 300$	40	0	0,003	0,003	Halus
$301 \leq L \leq 500$	63	50	0,003	0,003	
$501 \leq L \leq 1000$	80	61	0,004	0,007	
$1001 \leq L \leq 1600$	125	105	0,005	0,010	



Gambar 3. Desain *Horizontal Spindle Test bar* Mesin Frais Aciera F3

Selanjutnya, panjang dan diameter *spindle test bar* dipilih berdasarkan standar ISO 230-1:1996 seperti pada tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut dan standar kalibrasi yang diperiksa, rancangan desain untuk *spindle test bar* dipilih dengan panjang area kerja 300 mm, maka diameter luar yang dipilih yaitu 40 mm dengan diameter dalam 0 mm yang artinya *test bar* ini berbentuk pejal. Gambar 3 merupakan *output* dari rancangan desain *horizontal spindle test bar* Mesin Frais Aciera F3.

Pada pembuatan *spindle tes bar* ini, material yang digunakan adalah baja AISI 4340. Pemilihan baja jenis ini didasarkan pada beberapa faktor diantaranya: material ini banyak digunakan pada pembuatan komponen mesin perkakas, memiliki sifat mekanis sangat keras, cenderung getas dan sangat kuat, mudah diperoleh di pasaran, serta memiliki kandungan tertentu yang dapat dilakukan melalui proses perlakuan panas, sehingga sifat-sifat baja dapat diperbaiki dengan kekerasan yang didapat sesuai standar dari material baja AISI 4340 yaitu sebesar 56,5 HRC.

3.2 Proses Pembuatan *Spindle Test bar*

Proses pembuatan *spindle test bar* dimulai dari perencanaan kerja (*Operational Plan*) untuk memastikan kelancaran dan efisiensi proses permesinan. Tujuan perencanaan kerja ini mencakup mencegah kesalahan dalam pembuatan benda kerja, menyediakan kemampuan

untuk melacak letak kesalahan jika terjadi kesalahan proses, dan memungkinkan penentuan waktu penyelesaian proses permesinan dengan akurasi [12].

Proses permesinan diawali dengan proses bubut, dimana mesin bubut yang digunakan telah dikalibrasi dengan hasil geometri mesin masih masuk dalam batas toleransi. Adapun macam-macam pembubutan yang dikerjakan secara berurutan yaitu pembubutan muka, pengeboran, pembubutan tirus, pembubutan alur, pembubutan dalam, dan *chamfering*. Gambar 4 menunjukkan beberapa proses bubut yang dilakukan untuk pembentukan *spindle test bar*. Pada setiap ukuran spindle test bar dilebihkan 2 mm untuk kesilindrisan dan untuk ukuran tirus dilebihkan 0,7 mm. Pemberian ukuran lebih ini mengantisipasi terjadinya *bending* saat proses perlakuan panas, sehingga pada proses selanjutnya yaitu proses gerinda silindris akan lebih mudah memanfaatkan ukuran yang ada.



Gambar 4. Beberapa proses bubut *spindle test bar*

Proses perlakuan panas dilakukan dengan tujuan utama yaitu diperoleh kekerasan permukaan yang tidak mudah tergores oleh jarum dari dial indikator ketika proses kalibrasi. Berikut tahapan-tahapan proses perlakuan panas secara berurutan dalam pembuatan *spindle test bar*.

1. Pengikatan benda kerja untuk penempatan posisi dari benda kerja dengan cara dibaringkan pada tungku yang berisikan arang sebagai bantalan dari benda kerja.
2. Proses pengerasan (*Hardening*) dimana benda kerja dimasukkan kedalam tungku, kemudian tungku tersebut dimasukkan kedalam oven yang dimulai dengan suhu untuk bahan jenis AISI 4340 yaitu $\pm 860^{\circ}\text{C}$ dengan *holding time* sekitar 2 jam.
3. Proses *quenching* yaitu proses pendinginan cepat setelah perlakuan panas benda kerja yang menjadikan benda tersebut keras, kuat dan mudah patah. Media yang dipakai untuk *quenching* dalam proses pembuatan *test bar* ini adalah oli dan diproses selama 1,5 jam yang dihitung sejak benda kerja sudah tercelup kedalam media oli sepenuhnya. Selama 1,5 jam ini juga cairan oli yang berada dalam drum disirkulasikan sehingga panas dapat merata pada semua bagian benda kerja.
4. Proses *tempering* merupakan proses pemanasan setelah proses pendinginan untuk mendapatkan kekerasan sesuai dengan yang diinginkan dan meningkatkan ketangguhan paduan yang berbasis besi. Proses *tempering* ini dilakukan dengan suhu 200°C dengan *holding time* selama 1 jam. *Holding time* dilakukan pada tahap ini karena sebelumnya tungku *tempering* ini sudah ada yang menggunakan, jadi suhu akan lebih cepat naik ke suhu 200°C jika tanpa *holding time*. Setelah *holding time* tercapai, benda kerja didinginkan dengan cara dianginkan di udara bebas terbuka selama 24 jam.

Tahapan terakhir dalam proses permesinan dalam pembuatan *spindle test bar* ini yaitu proses gerinda silindris. Tahap ini memegang peranan krusial dalam pembuatan *test bar*, karena hasil dari proses gerinda menentukan tingkat kesilindrisan dan kehalusan permukaan



Gambar 5. Proses Penggerindaan *Spindle Test Bar*

test bar. Penggerindaan diawali dengan arah memanjang untuk mendapat ukuran dan kesilindrisan dengan menggeser meja mesin gerinda sesuai penyimpangannya. Selanjutnya, penggerindaan tirus untuk *taper shank* ketirusannya diatur dengan memasang adaptor arbor terlebih dahulu sebagai master. Meja mesin dimiringkan hingga pergerakan dial terhadap adaptor arbor tidak menunjukkan ukuran kenaikan maupun penurunan, jarum penunjuk pada dial harus benar-benar diam tidak bergerak ketika meja di geser ke arah kanan dan kiri. Setelah itu, penggerindaan dilakukan hingga bentuk tirus dan ukuran dari derajat yang sesuai master *shank* tercapai. Gambar 5 merupakan tahapan proses pengaturan dan penggerindaan dari *spindle test bar*.

3.3 Pengecekan Kualitas dan Pengujian *Spindle Test bar*

Pada tahap ini, pengecekan kualitas benda kerja akan dilakukan terutama pada bagian ukuran yang sangat berperan penting terhadap fungsi dari benda kerja *spindle test bar*. Peralatan yang akan digunakan untuk pengecekan kualitas *spindle test bar* terdiri dari mikrometer digital, jangka sorong, CMM (*Coordinate Measuring Machine*), *surface roughness tester*, dan *rockwell hardness tester*.

Rockwell hardness tester digunakan untuk pengecekan kualitas kekerasan *spindle test bar* setelah mendapatkan perlakuan panas dan sebelum proses gerinda. Hasil kekerasan proses perlakuan panas hardening dan *tempering* secara berturut-turut didapat sebesar 62,3 HRC dan 56,5 HRC. Untuk memverifikasi ketelitian geometri seperti kebulatan dan kesilindrisan, serta bentuk tirus pada *spindle test bar*, maka pengukuran dilakukan menggunakan CMM (*Coordinate Measuring Machine*). Pengukuran tirus dilakukan dengan 4 titik pengujian dengan hasil ukuran yang didapat sebesar 16°34'44". Selain itu, pengukuran kebulatan dilakukan dengan 16 titik pengujian dengan hasil ukuran yang didapat sebesar 39,0066 mm dan penyimpangan kesilindrisan sebesar 0,0059 mikron. Pengukuran geometri yang menggunakan jangka sorong dan mikrometer dilakukan pada bagian-bagian *test bar* yang masih mudah dijangkau oleh alat ukur tersebut dan ketelitian sampai 0,001 mm. Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran beberapa geometri *spindle test bar*.

Tabel 4. Hasil pengukuran geometri

No	Nominal Dimensi (mm)	Toleransi	Dimensi Aktual		Keterangan	Alat Ukur
			1	2		
1	Ø13	± 0,2	12,62	12,62	O	Jangka sorong
2	Ø17	± 0,2	17	17	✓	Jangka sorong
3	Ø32	± 0,3	31,94	31,94	✓	Jangka sorong
4	Ø40	± 0,002	39,006	39,006	O	Mikrometer
5	20	± 0,2	19	19	O	Jangka sorong
6	50	± 0,3	49,9	49,9	✓	Jangka sorong
7	300	± 0,5	300	300	✓	Meteran
Keterangan		✓ = OK	O = Out of Tolerance			

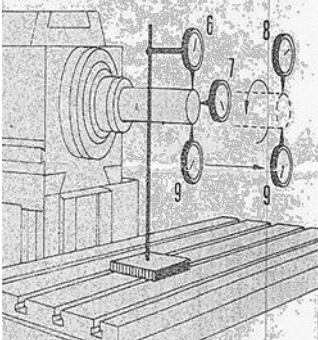
Berdasarkan tabel diatas dari 7 nominal dimensi yang diukur, terdapat 4 dimensi aktual yang masuk batas toleransi yang diizinkan dan 3 dimensi aktual lainnya memiliki ukuran diluar batas toleransi. Pada diameter 13 mm, nominal dimensi aktual yang didapat sebesar 12,62 mm yang artinya ini diluar toleransi yang diizinkan. Selanjutnya, diameter 40 mm dengan toleransi khusus $\pm 0,002$ dihasilkan nominal dimensi aktual sebesar 39,006 mm, sehingga ukuran ini berada diluar batas penyimpangan. Diameter 20 mm juga diluar toleransi yang diizinkan dengan hasil pengukuran dimensi aktual sebesar 19 mm. Hal ini terjadi karena saat proses pengerjaan, ketelitian geometrik untuk kesilindrisan dikejar agar mencapai toleransi yang bersesuaian dengan fungsi *spindle test bar* nantinya pada proses kalibrasi. Ukuran-ukuran yang diluar batas toleransi tersebut tidak berpengaruh terhadap fungsi dari *spindle test bar* yang dibuat, sehingga alat kalibrasi ini masih bisa digunakan.

Pengecekan kualitas kehalusan permukaan *spindle test bar* juga menjadi bagian penting untuk dilakukan pemeriksaan, karena dial indikator harus digerakkan diseluruh permukaannya. Pengecekan kehalusan ini dilakukan dengan 3 titik pada permukaan silinder Ø40 mm dan didapat hasil kehalusan yaitu, $Ra\ 0,12\mu = N3$. Sedangkan pada bagian tirus, hasil kehalusan yang didapat yaitu, $Ra\ 0,17\mu = N3$, sehingga dapat disimpulkan untuk kehalusan permukaan *spindle test bar* yang didapat keduanya yaitu N3.

Setelah pengecekan kualitas dari *test bar* diverifikasi bisa digunakan sebagai alat bantu kalibrasi, maka *test bar* dilakukan pengujian terhadap *spindle* Mesin Frais Aciera F3 untuk pengambilan data geometri. Pentingnya pengujian pada suatu mesin perkakas menjadi faktor kunci dalam menilai kelayakan operasionalnya, yang dilakukan melalui pengujian ketelitian geometrik dan karakteristik. Data dari hasil uji *test bar* dapat dilihat pada tabel 5. Dari hasil kalibrasi menggunakan *spindle test bar* yang dibuat, kesejajaran *spindle* Mesin Frais Aciera F3 pada jarak 135 mm pada bagian atas dan samping *test bar* didapat nilai sebesar 0,010 mm. Hasil pengukuran pada bagian ini masuk batas kesalahan yang diijinkan yaitu besarnya sama 0,010 mm. Untuk hasil pemeriksaan eksentrisitas dengan jarak 200 mm pada bagian no. 8 yaitu salah satu ujung *test bar* sebesar 0,030 mm. Hasil ini melebihi batas toleransi yang diizinkan yaitu 0,020 mm. Selanjutnya, hasil pengukuran pada bagian no. 9 dengan jarak titik pengukuran 150 mm adalah 0,011, hasil tersebut melebihi kesalahan yang diizinkan sebesar 0,010 mm. Untuk semua data nominal hasil pemeriksaan mesin yang didapat sudah dijumlahkan dengan hasil penyimpangan *test bar* yang dibuat pada pengujian di CMM yaitu, 0,005 mm.

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Spindle Mesin Frais Aciera F3

Tuliskan judul artikel pada halaman ganjil (menggunakan format *change case: Capitalize Each Word*)

Gambar Proses Kalibrasi	Bagian Yang Diperiksa	Kesalahan Yang Diiijinkan	Hasil Pemeriksaan
	6. Diukur pada bagian atas <i>test bar</i> .	0,010	0,010
	7. Diukur pada bagian samping <i>test bar</i> .	0,010	0,010
	8. Eksentrisitas <i>spindle</i> pada <i>test bar</i> , x 200 mm.	0,020	0,030
	9. Kesejajaran <i>spindle</i> dengan meja arah melintang, diukur pada bagian bawah sepanjang 150 mm.	0,010	0,011

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perancangan dan proses pembuatan *spindle test bar* Mesin Frais Aciera F3, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Perancangan dan pembuatan *spindle test bar* untuk Mesin Frais Aciera F3 sudah dilakukan. Proses perencanaan *spindle test bar* ini dibuat dengan membuat perencanaan kerja (*operation plan*) dengan mengikuti gambar kerja yang dibuat. Rancangan *test bar* mengacu pada *shank* Mesin Frais Aciera F3 dan standar ISO. Dalam pembuatan *spindle test bar* dilakukan beberapa proses yang terdiri dari pembubutan, *heat treatment* dan gerinda silinder.
- Proses pengecekan kualitas *spindle test bar* memverifikasi bahwa benda kerja tersebut bisa digunakan. Pengujian pada mesin frais dengan menggunakan *spindle test bar* yang dibuat, hasilnya 2 bagian yang diperiksa masuk pada batas kesalahan yang diijinkan dan 2 bagian lainnya melebihi batas toleransi.

5 REFERENSI

- [1] C. Leonardo, S. Suraidi dan H. Tanudjaya, "Analisis Kalibrasi Pengukuran dan Ketidakpastian Sound Level Meter," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 8, no. 1, pp. 46-53, 2019.
- [2] G. Gundara dan S. Riyadi, "Pengukuran Ketelitian Komponen Mesin Bubut Dengan Standar ISO 1708," *Al Jazari Journal of Mechanical Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 8-15, 2017.
- [3] J. H. Antungo, S. Haluit dan Y. Djamalu, "Redesain Alat Test Bar Collet untuk Kepresisian Mesin Bubut Konvensional," *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo*, vol. 1, no. 2, pp. 149-162, 2016.
- [4] Kelch, "Test Bars," Kelch Measuring and Gauges, 1 August 2012. [Online]. Available: <https://www.kelch.co.uk/our-products/measuring-and-gauges/test-bars#:~:text=Test%20bars%20are%20a%20master,alignment%20and%20runout%20of%20spindles..> [Diakses 10 February 2024].
- [5] M. Nasution, A. Bakhori dan W. Novarika, "Manfaat Perlunya Manajemen Perawatan

- untuk Bengkel Maupun Industri," *Buletin Utama Teknik*, vol. 16, no. 3, pp. 248-252, 2021.
- [6] "Pengamatan Kesesuaian Penerapan Kalibrasi dengan Standard Operational Procedure pada PT. Daya Manunggal Berdasarkan ISO 9001:2008," *Industrial Engineering Online Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 1-7, 2019.
- [7] D. G. Schlesinger, *Machine Testing Tools*, New York: The Machinery Publishing, 2005.
- [8] ISO, "Instrument and equipment for testing machine tools ISO 230-1," ISO, Switzerland, 1996.
- [9] F. Mangngi, "Evaluasi Kondisi Mesin Bubut Horizon T300 Menurut Metode Schlesinger sebagai Acuan Dalam Melakukan Tindakan Perawatan," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 87-99, 2018.
- [10] S. Purnama, "Metode Penelitian dan Pengembangan," *LITERASI*, vol. 4, no. 1, pp. 19-32, 2017.
- [11] F. Iriana, *Metode Penelitian Terapan*, Yogyakarta: Parama Ilmu, 2017.
- [12] Y. Pangestu, "Perencanaan Kerja Mesin Frais," Scribd, 2019.