

# Analisa Sumber Kesalahan Sumbu Spindel pada Mesin Bubut CNC dengan Metoda Uji Pemotongan

Albertus Rianto<sup>1,\*</sup>, Veky M. Fikri<sup>1</sup> dan Nasril<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balai Teknologi Mesin Perkakas, Produksi dan Otomasi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi - Banten

\*Korespondensi: albertus.rianto@bppt.go.id

**Abstrak.** Sumbu spindel adalah bagian mesin bubut CNC yang bekerja dengan melakukan putaran. Pada mesin bubut CNC, sumbu spindel langsung terhubung dengan pemegang chuck yang mana digunakan untuk memegang benda kerja. Pada umumnya, jumlah sumbu gerak pada mesin bubut CNC menggunakan 2 sumbu utama yaitu sumbu-x yang tegak lurus dengan putaran spindel dan sumbu-z yang sejajar dengan arah putaran spindel. Kesalahan geometri pada hasil pemotongan dipengaruhi oleh kesalahan mesin, kesalahan dinamik, sistem kontrol dan kesalahan geometri dari sumbu spindel. Perbandingan antara kesalahan geometri hasil pemotongan dengan ukuran yang sebenarnya menunjukkan kualitas sumbu spindel yang digunakan pada mesin perkakas. Analisa sumber kesalahan dari sumbu spindel dilakukan berdasarkan standar ISO 13041-6 tentang ketelitian hasil pemotongan mesin bubut CNC. Sumber kesalahan pada sumbu spindel secara gabungan dapat ditunjukkan oleh kebulatan hasil pemotongan benda uji. Hasil kesalahan pemotongan yang diukur dengan menggunakan coordinate measuring machine (CMM) adalah sebesar 0,010 mm.

**Kata kunci:** spindel, uji pemotongan, mesin bubut CNC, CMM

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

## Pendahuluan

Pada perkembangan industri mesin perkakas, diperlukan adanya standar kualitas untuk dapat diterima konsumen. Selain performa yang handal, ketelitian dan mampu ulang mesin perkakas sangat menentukan untuk diterima pasar. Pada Gambar 1 dapat dilihat produk mesin perkakas dalam negeri.



Gambar 1. Mesin bubut CNC dalam negeri

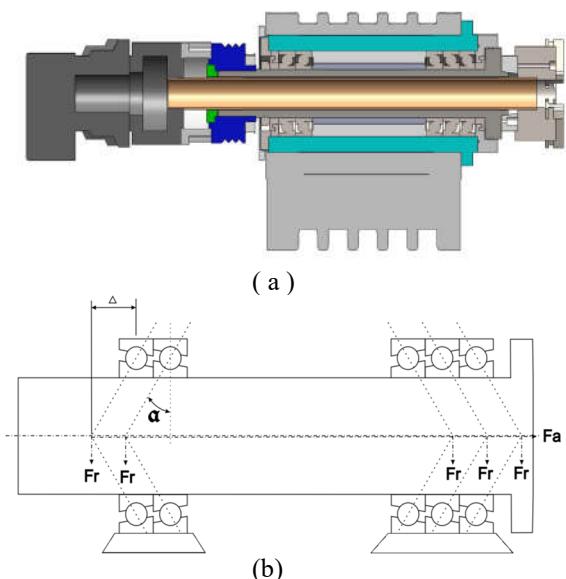
## Dasar Teori

Spindel adalah bagian mesin perkakas yang berfungsi untuk melakukan putaran. Pada mesin bubut CNC, spindel digunakan untuk memegang benda kerja. Berbeda dengan mesin milling, spindel pada mesin bubut lebih dominan mengalami pembebanan radial.

Spindel pada mesin bubut CNC disusun dengan komposisi komponen *bearing* sesuai dengan kebutuhan permesinan. Untuk memperkecil lengan

momen pada saat adanya gaya radial, titik tumpuan didekatkan dengan sumber gaya dan dipilih susunan *bearing back to back* yang menggeser titik tumpuan ke luar sistem *bearing*

Untuk menambah kekakuan dapat dipilih model susunan tandem dimana *bearing* disusun saling berdekatan dengan arah sumbu kontak bola yang saling sejajar. Jumlah *bearing* depan dibuat lebih banyak agar pada saat pembeban berlebih, bagian yang pertama bergeser adalah bagian yang dekat dengan penerak *puley*, sehingga kesalahan pada benda kerja tidak terlalu besar



Gambar 2. Konstruksi spindle pada mesin bubut CNC:  
(a) Komponen spindle pada mesin bubut, (b) Komposisi tumpuan *bearing*

Pada Gambar dapat dilihat bahwa spindel menggunakan komposisi lima *bearing* dengan kombinasi dua *bearing* dibelakang dan tiga *bearing* agar tumpuan *bearing* saling bertolak belakang.

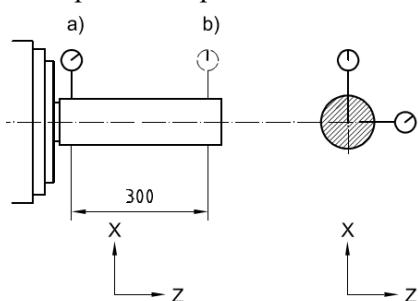
Parameter uji pemotongan pada mesin CNC adalah serangkaian parameter yang sangat mempengaruhi hasil pemotongan pada benda kerja. Nilai parameter ditentukan berdasarkan kemampuan mesin dan standarisasi pengujian. Parameter permesinan tersebut adalah kecepatan spindel (s), kecepatan *feedrate* (v), kedalaman pemotongan (d), jenis alat potong dan material benda uji. Dengan melakukan optimasi parameter akan didapatkan proses permesinan yang optimal sehingga dapat melakukan kinerja proses produksi yang cepat dengan hasil yang presisi.

## Metodologi Penelitian

Peralatan-peralatan pengujian yang digunakan untuk melakukan percobaan dan pengambilan data hasil pengujian meliputi mesin bubut CNC, mandrel uji jenis taper (Diabold), *dial gauge* (Mitutoyo) dan *coordinate measurement machine* (Brown & Shapes).

Langkah awal dalam pengambilan data adalah memastikan bahwa mesin bubut CNC sudah dilakukan kompensasi kesalahan gerak pemosision pada kedua sumbu geraknya. Kompensasi juga dilakukan untuk mengatasi potensi kesalahan yang terjadi karena *backlash* yang disebabkan pada komponen *ballscrew*.

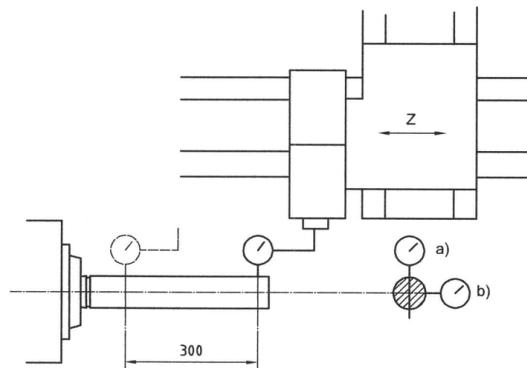
Pada tahap pengujian mesin perkakas, pengujian geometrik dilakukan sebelum dilakukan pengujian pemosision [1], tetapi untuk kebutuhan percobaan akan dilakukan beberapa pengujian ulang. Pengujian tersebut untuk memperoleh data bahwa *workhead* spindel bekerja dengan nilai kesalahan. Pengujian tersebut adalah pengujian *run-out* pada bagian *workhead* spindel. Skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengujian *run-out* pada *workhead* spindel [2]

Pengujian *run-out* dilakukan dengan mengukur nilai kesalahan yang terjadi pada titik (a) dan titik

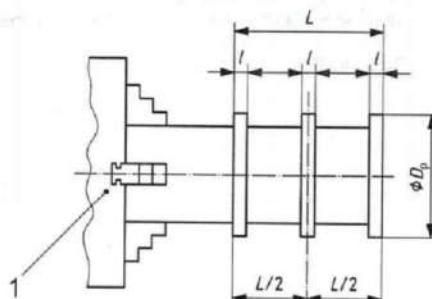
(b) yang berjarak 300 mm. Nilai kesalahan maksimal diambil pada kedua titik tersebut dengan memutar spindel 90 derajat sampai 2 kali putaran.



Gambar 4. Pengujian kesejajaran antara sumbu *workhead* spindel dengan sumbu gerak Z [2]

Pada Gambar 4 dapat dilihat cara pengujian kesejajaran antara *workhead* spindel dengan sumbu gerak Z. Seperti pada pengujian *run out*, pengujian kesejajaran juga dilakukan dengan mandrel uji dan *dial gauge*. Nilai kesalahan yang diambil adalah nilai kesalahan maksimal yang terjadi pada saat *dial gauge* digeser dari posisi (b) ke (a) pada kondisi dimana nilai *run-out* nya ditengah-tengah.

Untuk pengukuran hasil uji pemotongan, langkah awalnya adalah dengan menentukan benda uji yang sesuai dengan kebutuhan. Ukuran benda uji ditentukan sesuai dengan spesifikasi mesin bubut CNC yang digunakan. Pada Gambar 5 dapat dilihat nilai perbandingan ukuran benda kerja.



Gambar 5. Ukuran benda uji [3]

Untuk mesin bubut CNC horizontal dengan sistem *chuck* untuk memegang benda kerja, panjang stroke (L) dapat ditentukan dengan melihat panjang maksimal sumbu Z atau dengan melihat kemampuan maksimal diameter *chuck* nominal untuk dipilih mana yang terkecil seperti terlihat pada persamaan 1 dan persamaan 2.

$$L = 0,66 \times \text{panjang maks. sumbu } Z \quad (1)$$

atau,

$$L = 0,8 \times \text{nominal chuck diam.} \quad (2)$$

$$D_p = 0,3 \times L. \quad (3)$$

Sedangkan nilai diameter (Dp) minimal ditentukan berdasarkan nilai nilai L seperti pada persamaan 3. Nilai 1 pada Gambar 5 ditentukan dengan menyesuaikan kemampuan *probe* pada alat ukur CMM. Jarak antara permukaan *chuck* mesin dengan bagian terdekat dari benda uji yang akan dilakukan proses permesinan harus mempunyai nilai lebih kecil dari panjang L.

Data pengujian yang dicatat adalah :

1. Material dan dimensi benda uji
2. Material dan dimensi alat potong
3. Kecepatan potong
4. Kecepatan *feedrate*
5. Kedalaman pemotongan
6. Sumbu gerak permesinan
7. Kondisi pemasangan benda uji
8. Parameter pemotongan lainnya

## Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data uji geometri dilakukan dengan *workhead* spindel dengan menggunakan mandrel uji 300 mm. Hasil uji *run out* pada spindel adalah 0,003 mm pada posisi (b). Untuk pengujian kesejajaran antara sumbu *workhead* spindel dengan sumbu gerak Z adalah 0,013 mm untuk panjang stroke 300 mm.

Uji pemotongan dilakukan dengan memasang benda uji pada spindel kemudian dilakukan proses permesinan. Dari hasil uji kemudian dilakukan pengukuran dengan CMM untuk mengetahui kebulatan (*circularity*) dan kekonsistensi dari nilai diameter seperti terlihat pada Gambar 6.

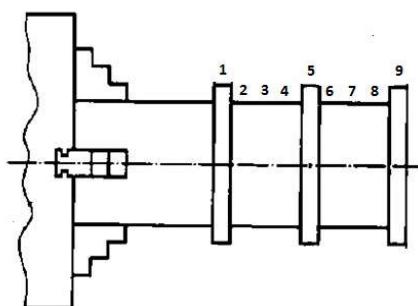


Gambar 6. Hasil uji pemotongan

Material yang digunakan adalah F45C dengan diameter 40 mm dan panjang 150 mm. Jenis pahat yang digunakan adalah pahat bentuk atau pahat kontur yang dapat digunakan kedalam dua arah dengan material pahat berjenis HSS – Cobalt merk Mitsubishi.

Parameter pemotongan benda uji adalah menggunakan kecepatan spindle sebesar 400 rpm dengan nilai *feedrate* sebesar 0,08 mm/ rev untuk proses *roughing* dan 0,02 mm/rev untuk proses *finishing*. Kedalaman pemotongan sebesar 0,2 mm yang dilakukan pada proses *roughing* dan 0,1 mm pada proses *finishing*. Pemotongan dilakukan tanpa menggunakan fluida pendingin.

Ukuran permesinan untuk benda kerja adalah dengan panjang stroke (L) sebesar 100 mm, diameter Dp sebesar 35 mm dengan jarak l sebesar 10 mm.



Gambar 7. Posisi benda uji yang dilakukan pengukuran dengan CMM

Pada Gambar 7 dapat dilihat posisi *probe* CMM untuk pengambilan data. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali dengan hasil pengukuran seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai kekonsistensi diameter pada uji pemotongan

Titik Probe	Ukuran Diam (mm)	Benda Uji	Hasil Uji (mm)	Deviasi (mm)
1	35	1	35,1154	0,1154
		2	35,1157	0,1157
		3	35,1147	0,1147
2	25	1	25,1764	0,1764
		2	25,1765	0,1765
		3	25,1759	0,1759
3	25	1	25,1721	0,1721
		2	25,1734	0,1734
		3	25,1719	0,1719
4	25	1	25,1833	0,1833
		2	25,1819	0,1819
		3	25,1821	0,1821
5	35	1	35,1208	0,1208
		2	35,1214	0,1214
		3	35,1200	0,1200
6	25	1	25,1766	0,1766
		2	25,1751	0,1751
		3	25,1766	0,1766
7	25	1	25,1814	0,1814
		2	25,1810	0,1810
		3	25,1811	0,1811
8	25	1	25,1897	0,1897
		2	25,1904	0,1904
		3	25,1888	0,1888
9	35	1	35,1353	0,1353
		2	35,1354	0,1354
		3	35,1350	0,1350

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa untuk melihat kekonsistensi diameter akan menghasilkan nilai kesalahan maksimal sebesar 0,1904 mm pada lokasi titik 8. Sedangkan untuk bagian luarnya, nilai

kesalahan maksimal sebesar 0,1354 mm yang terletak di titik 9.

**Tabel 2** Nilai kesalahan kebulatan pada uji pemotongan

Titik Probe	Ukuran Diam (mm)	Benda Uji	Kebulatan (mm)
1	35	1	0,0067
		2	0,0069
		3	0,0069
2	25	1	0,0081
		2	0,0076
		3	0,0067
3	25	1	0,0029
		2	0,0038
		3	0,0024
4	25	1	0,0027
		2	0,002
		3	0,0029
5	35	1	0,008
		2	0,007
		3	0,0073
6	25	1	0,0083
		2	0,007
		3	0,0073
7	25	1	0,0104
		2	0,0102
		3	0,0091
8	25	1	0,0082
		2	0,0089
		3	0,0081
9	35	1	0,0043
		2	0,0043
		3	0,0043

Pada Tabel 2. dapat dilihat bahwa untuk melihat kesalahan kebulatan (*circularity*) akan menghasilkan nilai kesalahan maksimal sebesar 0,0104 mm pada lokasi *probe* di titik 6. Sedangkan untuk bagian luarnya, nilai kesalahan maksimal sebesar 0,008 mm yang terletak di titik 5.

Dari hasil pengukuran geometrik diperoleh nilai deviasi sumbu spindel sebesar 0,003 mm sehingga jika dikombinasikan dengan deviasi kesejajaran pergerakan sumbu Z terhadap sumbu spindel diperkirakan berpotensi terjadi kesalahan ketelitian kesilindrisan dari hasil pemotongan sebesar 0,016 mm. Dari hasil uji pemotongan diperoleh nilai ketidaksilindrisan pada diameter kecil sebesar 0,008 mm dan sebesar 0,0104 mm pada diameter besar sehingga hasil pemotongan lebih banyak dipengaruhi oleh kesalahan gerakan sumbu dengan sedikit pengaruh dari kesalahan *run out* sumbu spindel. Karena kesalahan *run out* sumbu spindel bernilai lebih kecil dari kesalahan gerakan sumbu maka dapat disimpulkan bahwa kesalahan yang terjadi bukan karena faktor yang bersumber dari kesalahan geometrik lainnya. Kesalahan dari faktor geometrik lainnya dapat diabaikan. Jika kesalahan pemotongan lebih besar dibanding kesalahan hasil

kombinasi antara kesalahan sumbu spindel dan gerakan sumbu maka dapat diperkirakan ada kontribusi dari kesalahan geometrik lainnya seperti kesalahan yang disebabkan oleh adanya gaya potong dan getaran.

## Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil diterapkan suatu analisa sumber kesalahan sumbu spindel dengan menggunakan uji pemotongan. Ketelitian sumbu spindel berbasis uji pemotongan dapat dicapai sebesar 0,010 mm. Metode analisa uji pemotongan dapat digunakan industri mesin perkakas untuk dapat memperbaiki rancang bangun pada pengembangan sumbu spindel.

## Referensi

- [1] ISO 230-1, 2012. "Test code for machine tools – Part 1 : Geometric accuracy of machines operation under no load or quasi-static conditions", ISO 230-1 Switzerland.
- [2] ISO 10341-1, 2014. " Test condition of numerically controlled turning machines and turning centres - Part 1 : Geometric tests for machines with a horizontal workholding spindle ", ISO 13041-1 Switzerland.
- [3] ISO 10341-6, 2009. " Test condition of numerically controlled turning machines and turning centres - Part 6 : Accuracy of a finished test piece", ISO 13041-6 Switzerland.
- [4] Thusty, J., 2000. "Manufacturing process and equipment", Prestice Hall, New Jersey.
- [5] Weck, M., 1980. Machine tool hand book, John Wiley & Sons, New York.
- [6] Altitas Y, 2000. "Manufacturing automation : metal cutting mechanics, machine tool vibration and CNC desain", Cambridge university press.