

PENGUKURAN KETELITIAN GERAK MEJA *MACHINING CENTER* BERBASIS LASER INTERFEROMETER

Darto^{*)}

Abstrak : Pada penelitian ini dilakukan pengujian ketelitian gerak meja *machining center* arah sumbu - X dengan menggunakan pengukuran berbasis *laser interferometer*. Ketelitian gerak meja *machining center* yang diuji meliputi ketelitian pemosisian, ketelitian gerak *angular* dan ketelitian kelurusan gerak. Dengan menggunakan laser interferometer untuk mengukur ketelitian gerak *machining center* diharapkan memperoleh hasil yang teliti dan dapat dilaksanakan dalam waktu yang relatif singkat. Ketelitian teknik pengukuran dengan laser interferometer tergantung pada stabilitas panjang gelombang sinar laser. Kestabilan tersebut dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan yaitu tekanan, temperatur dan kelembaban udara.

Kata kunci: pemosisian, sudut, kelurusan

PENDAHULUAN

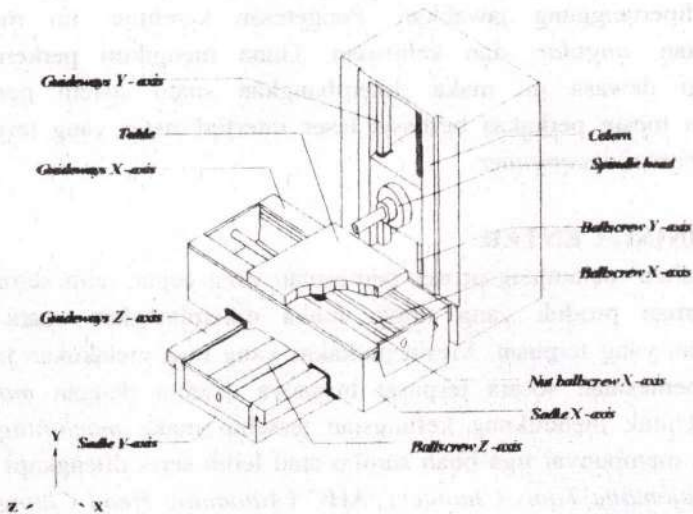
Mesin perkakas sebagai induk dari semua mesin produksi mempunyai persyaratan yang tinggi khususnya dalam ketelitian dan keandalan kerjanya. Oleh sebab itu mesin harus di uji ketelitiannya secara menyeluruh dan periodik. Pada mesin perkakas NC (*Numerical Control*) ujuk kerjanya sangat dipengaruhi oleh ketelitian geometrik serta kontrol numeriknya. Untuk menjamin hat tersebut maka ketelitian geometrik mesin perkakas harus distandarkan. Dalam standar tersebut dicantumkan kesalahan maksimum yang diijinkan maupun ilustrasi ringkasan tentang cara pengetesan. Untuk keperluan tersebut maka dikembangkan suatu sistem pengetesan ketelitian mesin perkakas secara terpadu agar proses

^{*)} Dosen Tetap Fakultas Teknik Jurusan Mesin Unmer Malang

pengetesan dapat dilakukan dengan cepat, tepat dan teliti serta hasilnya dapat dipertanggung jawabkan. Pengetesan ketelitian ini mencakup pemosisian, *angular*, dan kelurusan. Guna mengikuti perkembangan teknologi dewasa ini maka dikembangkan suatu sistem pengetesan ketelitian mesin perkakas berbasis laser interferometer yang terintegrasi dengan *personal computer*.

MACHINING CENTER

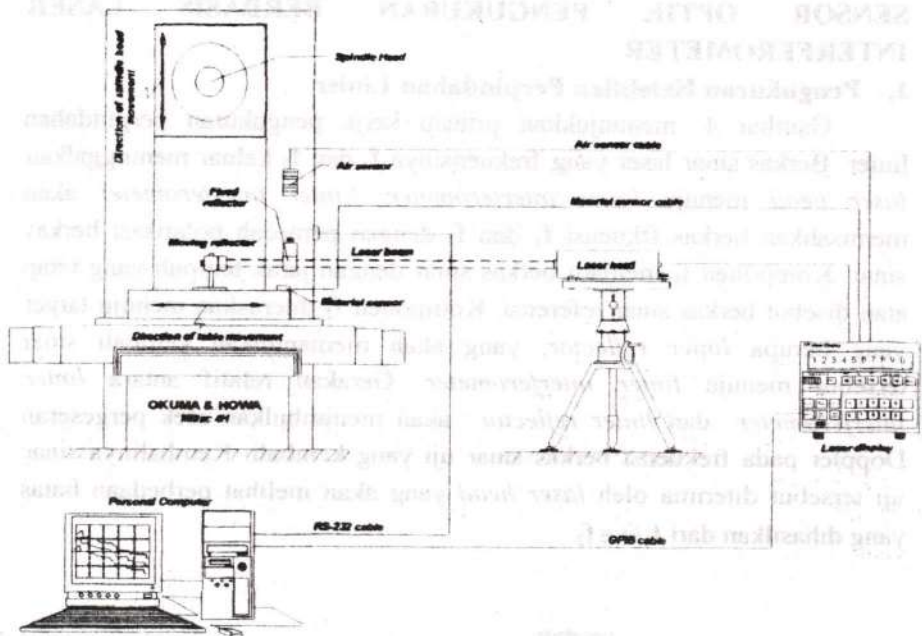
Dalam menunjang proses pemesinan yang cepat, teliti serta tingkat keseragaman produk yang tinggi maka dikembangkan suatu proses pemesinan yang terpusat. Mesin perkakas yang bisa melakukan beberapa proses pemesinan secara terpusat biasanya disebut dengan *machining center*. Untuk mendukung kefungsiannya tersebut maka *machining center* biasanya mempunyai tiga buah sumbu atau lebih serta dilengkapi dengan ATC (*Automatic Tools Changer*), AHC (*Automatic Head Changer*) dan APC (*Automatic Pallet Changer*). Berdasarkan hal tersebut di atas maka *machining center* tentulah mempunyai kemampuan yang lebih tinggi dibanding dengan mesin perkakas konvensional biasa dalam hal ketelitian, ketepatan dan produktivitas serta kompleksitas pekerjaan yang dapat ditangani. Struktur dasar *machining center* terdiri atas dua bagian yaitu sadel dan kolom. Pada bagian kolom biasanya dipasang spindel yang digunakan untuk menempatkan pahat potong. Baik pada sadel maupun kolom terdapat komponen-komponen pendukung gerakan translasi untuk setiap sumbu gerak. Komponen pendukung gerakan translasi tersebut adalah motor penggerak, *guideways*, *ballscrew*, *nut ballscrew* dan kopling. Setiap elemen pendukung gerakan memiliki karakteristik tersendiri seperti ketelitian geometrik yang secara langsung berpengaruh terhadap ketelitian pemosisian dan kelurusan gerak. Disamping itu perakitan setiap komponen pendukung gerakan juga akan berpengaruh terhadap ketelitian mesin perkakas secara keseluruhan.



Gambar 1. Struktur dasar *machining center*

SISTEM PENGUKURAN BERBASIS LASER INTERFEROMETER

Pengujian ketelitian gerak *machining center* yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan sistem pengukuran terpadu berbasis *laser interferometer* dengan modus kerja otomatis. Dengan menggunakan *laser interferometer* untuk mengukur ketelitian gerak *machining center* diharapkan memperoleh hasil yang teliti dan dapat dilaksanakan dalam waktu yang relatif singkat. Ketelitian teknik pengukuran dengan laser interferometer tergantung pada stabilitas panjang gelombang sinar laser. Kestabilan tersebut dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan yaitu tekanan, temperatur dan kelembaban udara. Berdasarkan hal tersebut maka kondisi lingkungan harus dipantau secara periodik selama pengujian.



Gambar 2. Konfigurasi pengukuran berbasis laser interferometer

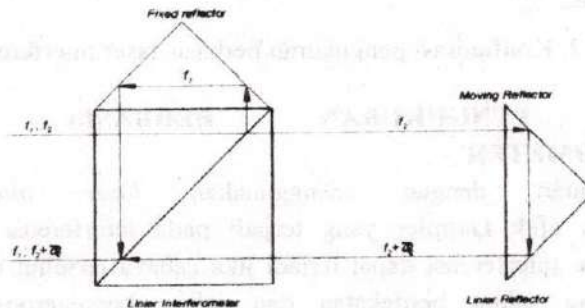
PRINSIP PENGUKURAN BERBASIS LASER INTERFEROMETER

Pengukuran dengan menggunakan *laser interferometer* memanfaatkan efek Doppler yang terjadi pada interferensi antar dua bundel cahaya. Interferensi dapat terjadi jika cahaya tersebut mempunyai frekuensi yang saling berdekatan dan saling bersuperposisi. *Laser interferometer* mempunyai ciri-ciri khusus yang tidak dimiliki oleh alat ukur geometrik, yang antara lain : kecermatan 1 mikrometer serta mempunyai ketepatan dan ketelitian yang tinggi.

SENSOR OPTIK PENGUKURAN BERBASIS LASER INTERFEROMETER

1. Pengukuran Ketelitian Perpindahan Linier

Gambar 4. menunjukkan prinsip kerja pengukuran perpindahan linier. Berkas sinar laser yang frekuensinya f_1 dan f_2 keluar meninggalkan laser head menuju linier interferometer. Linier interferometer akan memisahkan berkas frekuensi f_1 dan f_2 dengan pemecah polarisasi berkas sinar. Komponen f_1 menjadi berkas sinar dengan jarak tempuh yang tetap atau disebut berkas sinar referensi. Komponen f_2 diteruskan menuju target yang berupa linier reflector, yang akan memantulkan kembali sinar tersebut menuju linier interferometer. Gerakan relatif antara linier interferometer dan linier reflector akan menimbulkan efek pergeseran Doppler pada frekuensi berkas sinar uji yang kembali. Kembalinya sinar uji tersebut diterima oleh laser head yang akan melihat perbedaan batas yang dihasilkan dari $f_1 \pm \Delta f_2$

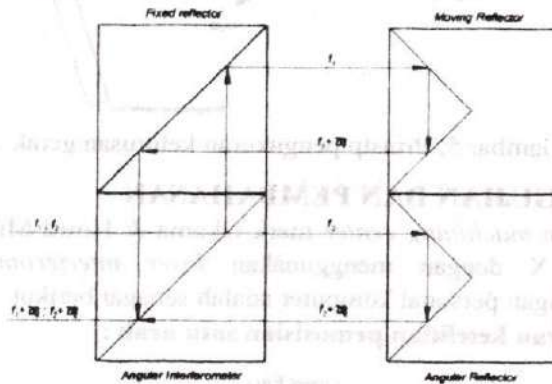


Gambar 3. Prinsip pengukuran perpindahan linier

2. Pengukuran Ketelitian Perpindahan Sudut

Gambar 5. menunjukkan prinsip kerja pengukuran ketelitian perpindahan sudut. Pengukuran ketelitian perpindahan sudut menggunakan kombinasi dua pengukuran linier. Sinar yang masuk ke interferometer akan dipisahkan menjadi dua berkas sinar sejajar dengan

frekuensi f_1 dan f_2 . Awal pengukuran kedua berkas sinar tersebut memiliki panjang sama. Setelah *angular reflector* berpindah dan terjadi gerak sudut pada posisi yang dituju maka lajur optik kedua berkas sinar laser akan berbeda. Perbedaan tersebut mengakibatkan efek Doppler pada berkas sinar yang kembali menuju ke *laser head* yang kemudian akan diubah menjadi besaran sudut. Pengukuran ketelitian perpindahan sudut pada penelitian ini hanya dapat mengukur dua jenis gerakan sudut yaitu gerak *yaw* dan gerak *nitch*.



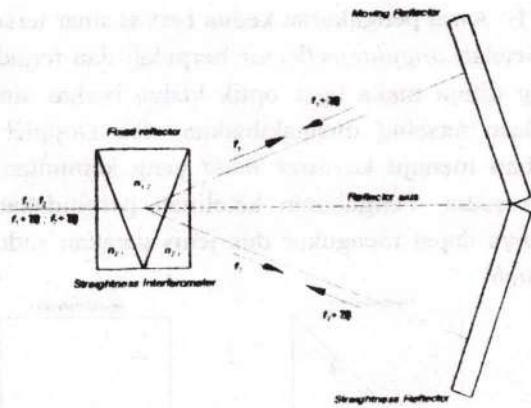
Gambar 4. Prinsip pengukuran perpindahan sudut

3. Pengukuran Kelurusan Gerak

Gambar 6 dapat dilihat bahwa sinar yang masuk ke dalam interferometer akan dipisahkan menjadi dua buah berkas sinar dengan frekuensi f_1 dan f_2 menuju reflektor. Kedua berkas sinar tersebut memiliki panjang yang sama. Apabila reflektor bergerak horisontal terhadap bidang gambar maka panjang kedua berkas sinar tersebut akan berbeda. Perbedaan tersebut digunakan untuk menghitung penyimpangan gerak horisontal (*) yang terjadi sebesar

$$* = 2D \sin(2/2)$$

- Dimana : D = jarak offset
 2 = sudut antara dua berkas sinar dari interferometer
 2 : $1,5^\circ$ untuk *short range interferometer*
 2 : $0,15^\circ$ untuk *long range interferometer*

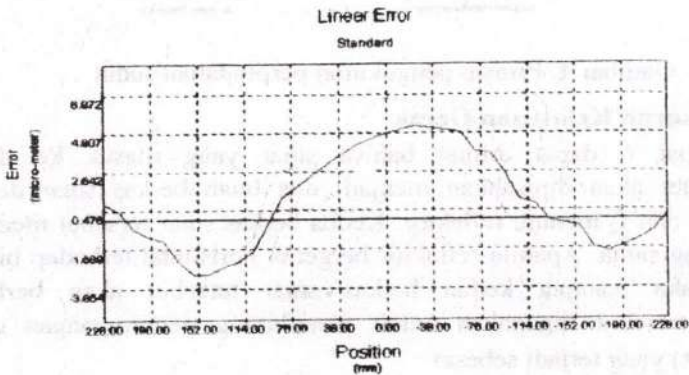


Gambar 5. Prinsip pengukuran kelurusan gerak

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian *machining center* merk Okuma & Howa Millac 4H pada arah sumbu X dengan menggunakan *laser interferometer* yang terintegrasi dengan personal komputer adalah sebagai berikut :

1. Pengukuran ketelitian pemosisian satu arah :

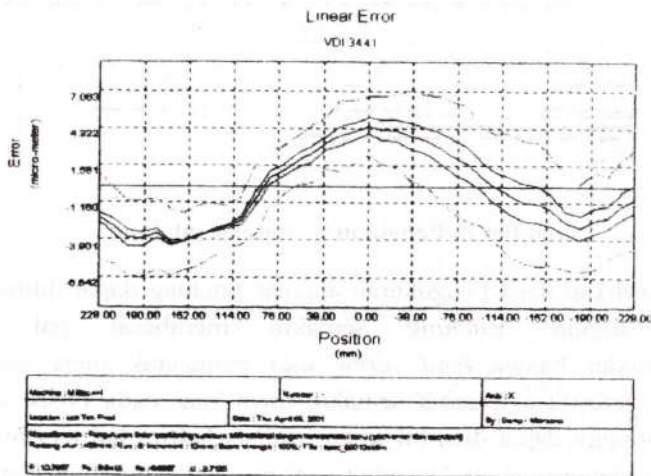


Machine: Millac 4H	Number:	Axis: X
Location: Lab. Test. Prod.	Date: Thu, April 09, 2003	By: Bertha - Marseno
<small> Bertha Marseno: Pengukuran dan analisis terapan & analisis data dengan menggunakan komputerisasi dan teknik dasar Mekanika dan Sistem Manufaktur: Dasar-Dasar Mekanika: 1999. File: test_7005.doc </small>		
Order: 0001	Max: 0.001	

Gambar 6. Pengukuran pemosisian satu arah

Berdasarkan hasil pengukuran ketelitian pemosisian dapat dilihat bahwa kesalahan pemosisian masih dalam batas toleransi yang diijinkan yaitu 25 mikron-meter per 300 mm. Hal tersebut bisa terjadi karena adanya perangkat lunak kompensasi *pitch ball screw*. Di samping itu kesalahan pemosisian merupakan kesalahan kumulatif dari berbagai sumber yaitu kesalahan angular, kesalahan kelurusan dan kesalahan geometrik dari bidang referensi meja *machining center*.

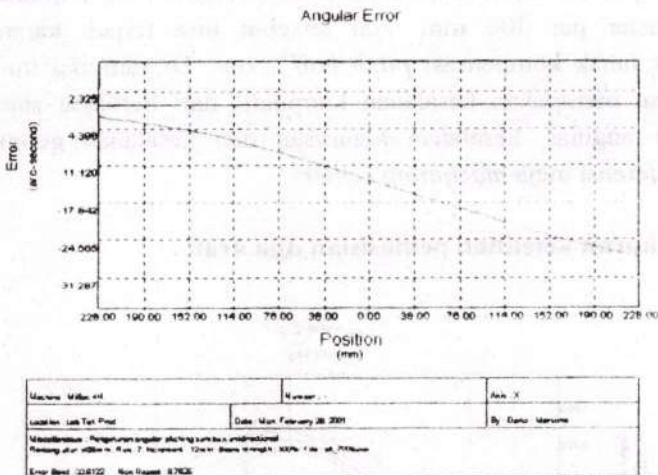
2. Pengukuran ketelitian pemosisian dua arah :



Gambar 7. Pengukuran pemosisian dua arah

Pengukuran ini difungsikan untuk melihat pengaruh *backlash ball screw* sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan besarnya kompensasi *ball screw* yang diberikan. Berdasarkan hasil pengukuran pemosisian dua arah dapat dilihat bahwa *backlash* terbesar berada pada daerah kerja. Hal ini mengindikasikan bahwa keausan *ballscrew* ada di tengah. Penyebab keausan tersebut karena proses pemesinan yang lebih sering di daerah tengah *ballscrew* atau pada daerah kerja.

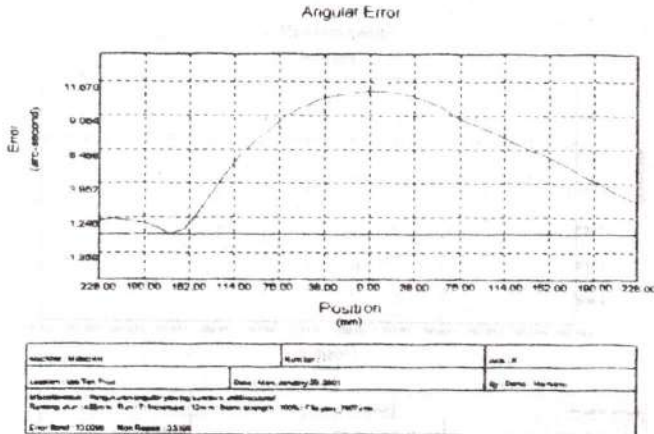
3. Pengukuran ketelitian gerak angular pitching



Gambar 8. Pengukuran angular pitching

Berdasarkan hasil pengukuran angular pitching dapat dilihat bahwa kesalahan angular *pitching* semakin membesar hal tersebut mengindikasikan bahwa *lead screw* dari penggerak meja mengalami deformasi. Deformasi tersebut semakin membesar pada posisi jauh dari operator sehingga dapat diambil suatu analisis bahwa hal tersebut terjadi akibat *machining center* tersebut sering kali dipergunakan untuk memotong benda kerja pada arah searah jarum jam.

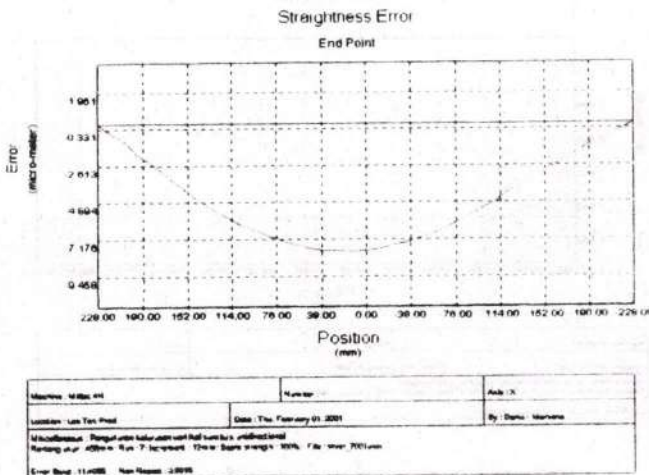
4. Pengukuran ketelitian gerak angular yawing



Gambar 9. Pengukuran angular yawing

Kesalahan angular yawing yang ada pada hasil pengukuran tersebut memperlihatkan bahwa kesalahan angular yawing terbesar berada pada daerah kerja. Hal tersebut mengindikasikan bahwa *lead screw* mengalami keausan yang paling besar pada daerah kerja. Di samping itu keausan juga mengakibatkan ketidakbulatan dari *lead screw* sehingga menimbulkan adanya efek periodik pada kesalahan yawing.

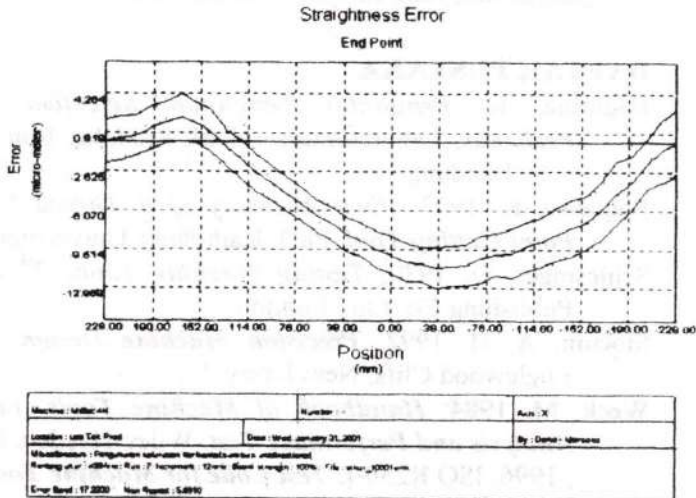
5. Pengukuran ketelitian kelurusan gerak vertikal



Gambar 10. Pengukuran kelurusan vertical

Gerakan meja *machining center* pada arah vertikal dapat diketahui dari hasil pengukuran di atas yang mengindikasikan bahwa lintasan luncur *meachining center* tersebut mengalami keausan vertikal pada posisi tengah. Hal tersebut terjadi karena meja bergerak bolak-balik pada arah longitudinal di daerah kerja sehingga kontak antara meja dan lintasan luncur pada kerja sering terjadi yang lama kelamaan akan mengakibatkan keausan lintasan luncur.

6. Pengukuran ketelitian kelurusan gerak horizontal



Gambar 11. Pengukuran kelurusan horisontal

Kesalahan kelurusan gerak meja machining center pada arah horisontal terlihat pada hasil pengukuran yang berindikasi bahwa meja mengalami gerakan yang parabolik. Hal tersebut dapat terjadi karena proses pembuatan lubang (*drilling*) pada tengah-tengah benda kerja yang menyebabkan meja terdorong oleh pahat. Di samping itu juga disebabkan oleh kondisi lintasan lurus yang tidak lurus pada arah horisontal.

SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan terhadap hasil pengukuran ketelitian gerak meja machining center yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- [1] Kesalahan pemosisian dipengaruhi oleh kesalahan pitch dari *ball screw*, kesalahan angular dan kesalahan kelurusan
- [2] Kesalahan angular dipengaruhi oleh keausan *ballscrew*

- [3] Kesalahan kelurusan lebih dominan dipengaruhi oleh keausan dari lintasan lurus dari meja *machining center*.
- [4] Pengukuran dengan *laser interferometer* akan mendapatkan hasil pengukuran yang cermat, tepat dan teliti.

DAFTAR PUSTAKA

Bagiasna, K. *Pengantar Pengujian Ketelitian Geometrik Mesin Perkakas*, Laboratorium Teknik Produksi Dan Metrologi Industri, ITB, Bandung

Bagiasna, K. 1997, *Pitch Accuracy of A Thread Cut Using A Single Point Cutting Tool*. PhD, Katholieke Universiteit Te Leuven

Schlesinger, G. 1970, *Testing Machine Tools, 7th ed*. The Machinery Publishing Co. Ltd., London

Slocum, A. H. 1992, *Precision Machine Design*. Practice Hall. Inc, Englewood Clifs, New Jersey

Weck, M. 1984, *Handbook of Machine Tools. Vol. 4, Metrological Analysis and Performace Test*. Wiley-Heyden, Norwich

_____, 1996, *ISO R230-1: Test Code for Machine Tools, Part 1 & 2 ISO*, Switzerland

_____, 1985, *Millac 4H Operation Manual*, Okuma & Howa Machinery Ltd, Nagoya, Japan