

## **Pengukuran Profil Celah (Gap) Berbentuk Step Miring pada Bagian Dalam Tube Silinder dengan Metode Prisma Kontak**

**Yongky Permana Ramlan**

Laboratorium Manufaktur, Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
yongky@eng.ui.ac.id

### *Abstraksi*

*Pengukuran celah profil step pada produk komponen adalah termasuk salah satu jenis pengukuran yang sulit dilakukan, apalagi bila celah profil berada di dalam sebuah tube dan dalam dimensi yang kecil. Beberapa alat ukur skala langsung dengan spesifikasi khusus telah dibuat, namun kurang dapat memberikan hasil yang memuaskan. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur celah profil step yang terdapat dalam sebuah silinder plastik, dengan menggunakan sampel dari sebuah komponen elektronik. Pada penelitian ini digunakan sebuah Laser Displacement Sensor, yang berbasis optikal untuk mengetahui jarak (displacement) sebuah obyek dengan sensor tersebut. Sebuah sistem konstruksi pengukuran baru diusulkan dimana sebuah prisma kontak diletakkan pada posisi tertentu yang berfungsi untuk menjejaki celah profil step pada bagian dalam silinder. Pada sistem ini sinar laser dibelokkan pada sudut 90° derajat sehingga dapat menjejaki celah profil step yang ada. Beberapa penelitian sebelumnya mengenai penjejakan celah profil step menggunakan sensor laser, sensor suara maupun elektromagnetik karena sensor jenis inilah yang cukup peka untuk menjejaki profil step secara hampir sempurna, namun untuk pengukuran pada bagian dalam sebuah komponen belum pernah dilakukan sebelumnya. Hasil yang didapat cukup baik dimana profil celah step dapat dijejaki dengan tingkat kepresisian mendekati 1 µm. Alat ukur laser itu sendiri memiliki drift sebesar 1.8 µm dalam 30 menit. Profil memiliki kedalaman celah sekitar 0.8 mm dan lebar celah 1.4 mm dan 0.54 mm.*

Keywords: Profil Step, Laser Displacement Sensor, Prisma Kontak, Metode Optikal, Komponen Elektronik

### **Pendahuluan**

Beberapa produk khususnya produk elektronik memiliki komponen dengan profil gap atau celah yang berbentuk step; dalam hal ini contohnya adalah seperti silinder lensa kamera digital, dll. Dengan berkembangnya abad digital dan makin banyaknya perangkat elektronik bermunculan di masyarakat maka tuntutan akan kualitas hasil produk yang baik menjadi makin penting. Namun demikian dunia pengukuran sampai saat ini masih memiliki kendala untuk melakukan pengukuran celah atau gap dengan bentuk step tadi. Sehingga terjadi beberapa keterbatasan dalam melakukan proses penjaminan mutu (*quality assurance*) untuk komponen dengan kriteria seperti diatas.

Pengukuran celah atau gap berbentuk step miring adalah termasuk salah satu jenis pengukuran yang sulit dilakukan. Hal ini disebabkan karena terbatasnya alat ukur yang mampu menjangkau celah tersebut dengan baik sehingga mampu menjejaki setiap titik yang ada pada celah yang bersangkutan.

Dalam penelitian ini diusulkan sebuah sistem konstruksi pengukuran profil celah berbentuk step miring yang baru dimana pada sistem ini hanya dipergunakan sebuah Sensor Jarak berbasis optikal (*Laser Displacement Sensor*) yang dipasang pada sebuah *Machining Center* buatan Takuma-Fanuc. Sistem konstruksi ini disebut sebagai sistem pengukuran dengan metode prisma kontak, dimana sebuah prisma kontak dioptimalisasikan untuk menjejaki profil step. Sistem ini amat praktis dan mudah

digunakan, bahkan langsung dari mesin sekalipun, sehingga membuat sistem ini amat mendukung bagi sistem pengukuran *on-machine*. Sistem pengukuran metode prisma kontak ini memanfaatkan fenomena refleksi pada gelombang optik, khususnya sinar laser, dimana sinar laser yang terjadi diarahkan menuju bagian celah yang ingin dijejaki.

Sistem pengukuran *on-machine* menjadi trend di dunia manufaktur saat ini dimana dengan sistem ini operator dapat langsung mengetahui dimensi dan kualitas hasil kerja produksi mereka yang tentunya amat membantu pabrikan untuk mereduksi produk cacat dan meningkatkan kualitas. Sistem ini menghendaki tersambungnyanya sensor pengukur dengan media penghitung (komputer) sehingga hasil produksi dapat langsung diketahui.

## Metode Pengukuran

### Metode Segitiga

Sensor yang digunakan adalah sensor berbasis optikal yang menggunakan sinar laser atau lebih dikenal dengan sebutan Laser Displacement Sensor. Sensor ini menggunakan fenomena fisika hukum refleksi atau pantulan, dimana sinar akan memantul bila mengenai bidang datar tertentu yang memiliki sifat mampu pantul. Dalam sensor ini terdapat beberapa lensa yang digunakan untuk memfokuskan titik pantul sinar serta memperkecil titik tembak sinar. Dengan demikian tingkat sensitifitas atau kepekaan sensor dapat menjadi lebih tinggi, dalam artian sensor ini akan mampu menjejaki ketidakteraturan *countour* permukaan dengan lebih baik.

Metode penjejakan yang dilakukan oleh Laser Displacement Sensor ini juga dikenal dengan sebutan Metode Segitiga (*Triangle Method*) yang dapat digambarkan melalui gambar dibawah ini:

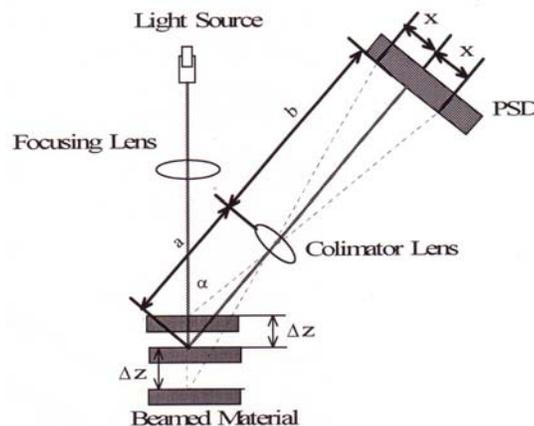


Fig. 1 Metode Segitiga

Dalam gambar terlihat bahwa sinar laser dibangkitkan melalui pembangkit sinar laser (*Laser Beam Generator*), untuk kemudian di fokuskan oleh lensa fokus. Sinar laser yang ditembakkan ke permukaan bidang obyek akan memantul ketika sinar tersebut menjejaki atau mengenai permukaan bidang ukur. Pantulan sinar laser tersebut akan menuju kembali ke sensor dengan sudut pantul tertentu yang berbentuk seperti segitiga sejak saat dia ditembakkan dari pembangkitnya. Sinar laser lalu ditangkap oleh bagian yang bernama *Photo Sensitive Detector (PSD)*. Pada penelitian ini, kita mengganti *PSD* tadi

dengan *CCD Camera (Charge Couple Device)* yang lebih sensitive dan peka dalam menangkap pantulan sinar.

Untuk lebih jelasnya maka mekanisme optikal sinar tersebut dapat diekspresikan melalui ekspresi matematis berikut ini :

Ekspresi matematis

$$\Delta Z = \frac{x.a}{b. \sin (\alpha)} \dots\dots\dots(1)$$

Ketika sinar laser ditangkap oleh *CCD Camera*, akan terdapat pergeseran sebesar *x* yang terjadi sejenak setelah sinar yang ditembakkan menjejaki profil dari permukaan benda yang diukur, yang memiliki ketinggian *countour* berbeda pula, yakni  $\Delta Z$ . Bergesernya sinar laser tersebut akan menghasilkan perbedaan intensitas sinyal listrik, dan Perbedaan intensitas listrik inilah yang akan menghasilkan perbedaan ketinggian atau jarak yang ada pada permukaan benda yang diukur melalui kalibrasi yang dilakukan.

*Metode prisma kontak*

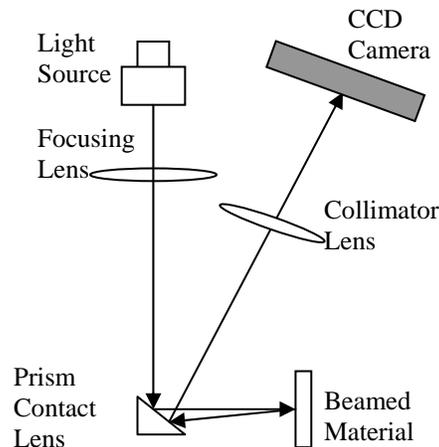


Fig. 2 Metode Prisma Kontak

Pada gambar 2 diatas dijelaskan mengenai sistem konstruksi pengembangan baru yang dilakukan pada penelitian ini. Dimana sebuah prisma kontak digunakan untuk memantulkan kembali sinar laser yang ditembakkan sampai mengenai profil permukaan yang hendak diukur. Disini diasumsikan bahwa model matematis yang sama dengan metode segitiga akan terjadi melalui perantara prisma kontak sehingga profil dari permukaan benda pun akan terdeteksi dengan baik.

Dalam hal ini pantulan sinar laser harus benar-benar kembali ke *CCD Camera* seperti mekanisme dari metode segitiga sehingga *CCD Camera* dapat membaca pergeseran permukaan yang terjadi.

## Konstruksi dan Sistem Pengukuran

Konstruksi sistem pengukuran yang diusulkan adalah berbentuk seperti gambar dibawah ini :

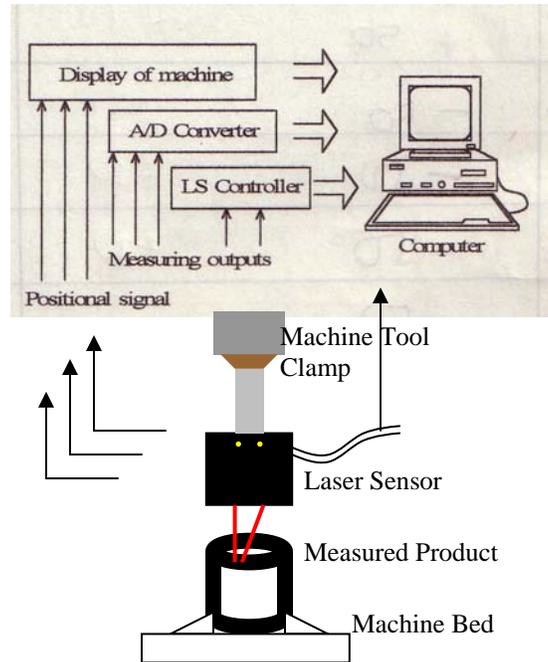
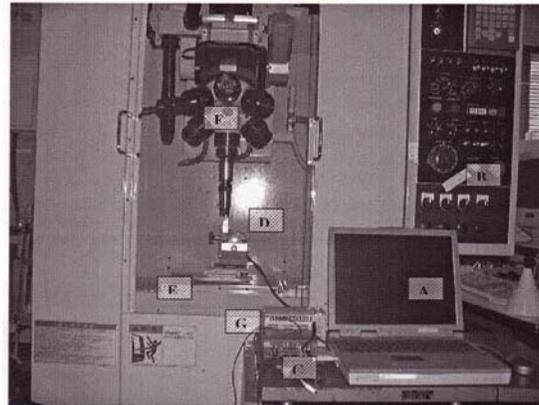


Fig 3. Konstruksi Sistem Pengukuran

Seperti terlihat pada gambar 3, Laser Displacement Sensor dipegang oleh sebuah adaptor holder yang dibuat secara khusus untuk memegang sensor dan menyambungkannya dengan Mesin. Mesin yang digunakan adalah Machining Center Merk TAKUMA J100 yang dapat melakukan proses *milling*, *turning*, *scrapping*, *drilling* dan *boring* serta memiliki *tool holder* sebanyak 12 buah clamping. Sistem Kontrol pada mesin ini berbasis pada CNC yang dibuat oleh FANUC.

Dengan menaruh sensor pada salah satu tool holdernya maka proses pengukuran dapat disebut *on-machine-process*, dimana proses pengukuran langsung dilakukan dan hasilnya dapat terbaca di layar monitor.

Sensor yang telah terpasang pada machining center kemudian dihubungkan dengan sebuah PC dengan card khusus yang mampu membaca sensor, dengan card khusus ini maka hasil pengukuran untuk selanjutnya diolah menggunakan software untuk menganalisa dan memberikan kesimpulan pembacaan. Terdapat pula sebuah Analog to Digital Converter (ADC) yang dapat mengubah sinyal analog dari sensor menjadi sinyal digital. Kita juga melakukan penyaringan (*filtering*) pada kabel-kabel koneksi terutama antara sensor dan komputer ; seperti dengan low pass filter yang berfungsi menyaring gelombang frekwensi tinggi, untuk mengurangi noise dan interferensi yang terjadi pada proses pengukuran karena hidupnya mesin. Pada sensor holder juga dipasang lensa prisma kontak sebagaimana metode pengukuran yang telah digambarkan diatas.



**Construction of the Measurement System**

- A : Personal Computer
- B : Turret Machining Center
- C : A/D Converter
- D : Laser Displacement Sensor
- E : Table of the Machine
- F : Multi Turret Spindle
- G : Laser Sensor Amplifier and Power Supply

Fig. 4 Foto Sistem Konstruksi Pengukuran

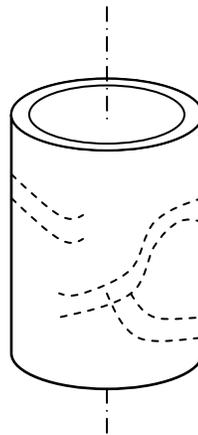


Fig. 5. Silinder dengan Profil Celah (Gap) yang hendak diukur terdapat pada bagian dalam

### Proses Pengukuran

Proses pengukuran dilakukan dengan metode seperti terlihat digambar 6 dibawah ini:

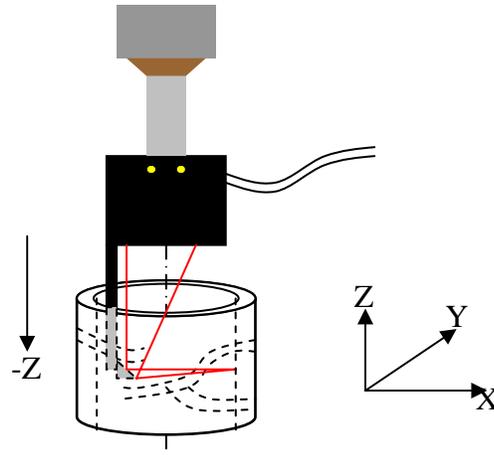


Fig. 6. Proses Pengukuran

Komponen yang hendak diukur adalah sebuah silinder yang terbuat dari plastik dan berwarna hitam seperti terlihat pada gambar 5 diatas. Di dalam tabung silinder tersebut terdapat profil bercelah dengan bentuk step miring. Profil tersebut memiliki pola alur tertentu. Komponen yang hendak diukur untuk selanjutnya ditaruh pada meja (bed) dari Machining Center dan di clamp dengan cukup untuk menghindari pergeseran yang terjadi ketika pembacaan.

Setelah itu machining center dijalankan dan sensor digeser dalam arah sumbu z negatif. Dengan menggeser sensor dalam arah sumbu z negatif maka sinar laser akan dapat menjejaki profil celah gap berbentuk step miring yang terdapat didalam silinder. Pergeseran dilakukan step-by-step (*point-to-point*) dengan jarak interval sebesar 100 mikron atau 0,1 mm.

Proses pembacaan dilakukan terus menerus pada setiap point sampai sebuah profil celah step yang terdapat pada silinder dapat terdeteksi secara keseluruhan. Pada penelitian kali ini, pengukuran hanya dikonsentrasikan untuk mengukur sebuah celah step saja terlebih dahulu. Dan melakukan hasil analisa dari pengukuran tersebut.

#### Hasil Pengukuran dan Analisa Hasil

Hasil pengukuran dan error yang terjadi dapat terlihat melalui gambar grafik dibawah ini:

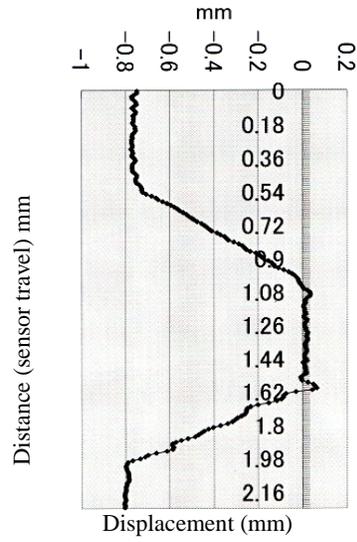


Fig. 7 Grafik Hasil Pengukuran Profil Step  
(bagian dalam sebelah kanan)

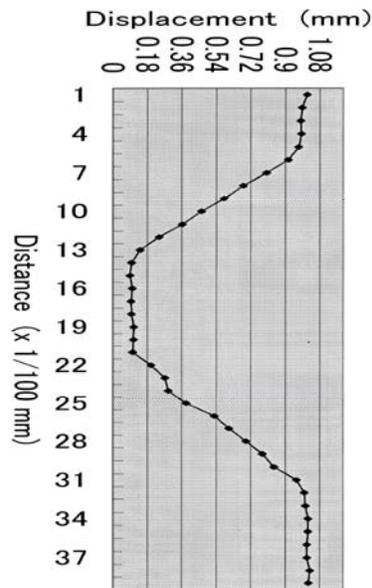


Fig. 8 Grafik Hasil Pengukuran Profil Step  
(bagian dalam sebelah kiri)

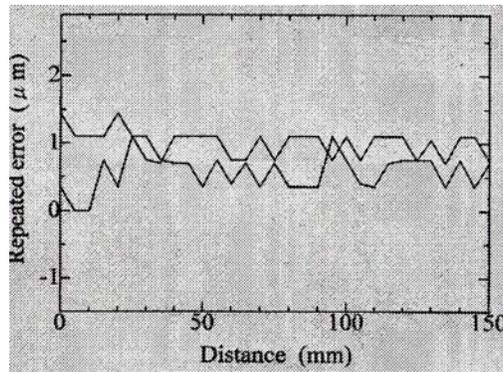


Fig. 9 Repeated Error (Kepresisian Pengukuran)

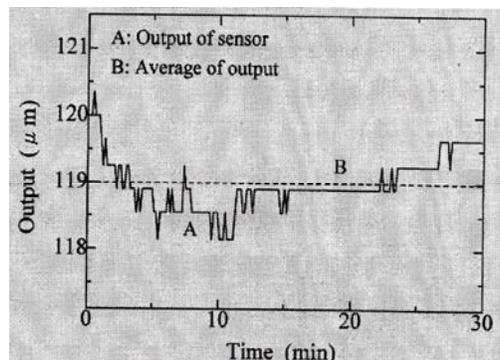


Fig. 10 Stabilitas (drift) dari Sensor

Dari gambar 7 grafik hasil diatas terlihat bahwa secara umum pembacaan profil celah oleh sensor dapat terlaksana dengan baik. Namun terjadi loncatan sinar pada point terakhir menjelang penjejakan memasuki step miring sisi berikutnya, hal ini terjadi karena pada saat sinar laser mencapai daerah tersebut maka pantulan sinar mendadak melompat dalam arah yang tidak sama dengan sudut pantul sebelumnya. Pada saat terjadi loncatan inilah sinar pantulan tidak tertangkap oleh prisma dan tidak dapat diteruskan kedalam CCD kamera. Sebagai akibatnya maka terjadi black point atau titik gelap yang mencerminkan tidak terjadinya pembacaan pada titik tersebut. Dalam hal ini lebar dan posisi prisma ternyata juga menjadi salah satu faktor menentukan. Terbukti ketika penelitian menggunakan prisma kontak dengan posisi yang sedikit dimiringkan kebawah maka hampir seluruh titik jejak dapat terbaca dengan baik, seperti pada gambar 8. Dengan hasil ukur profil adalah tinggi  $\pm 0.8$  mm dan lebar profil bagian dasar  $\pm 0.54$  mm, lebar bagian atas profil  $\pm 1.44$  mm.

Fenomena *black point* (loncatan pantul tidak terduga) ini memang kerap menghantui pada pengukuran profil berbentuk step dan selalu sulit untuk ditaklukkan. Namun dengan diameter sinar laser yang lebih kecil, jarak interval pembacaan yang rapat, tingginya kepresisian gerak mesin serta penggunaan lensa yang tepat maka perlahan fenomena ini dapat diminimalisir.

Penelitian kali ini merupakan langkah maju yang cukup signifikan dalam pengukuran profil celah berbentuk step miring karena menghasilkan pembacaan yang cukup baik dan presisi. Hasil pembacaan yang presisi terlihat pada gambar 9 hasil repeated error yang terjadi, dimana hasilnya hanya berkisar pada range 1  $\mu\text{m}$ . Hasil pengukuran cukup baik karena dapat membaca seluruh profil celah dengan jelas dimana stabilitas sensor laser yang digunakan juga tinggi, seperti terlihat pada gambar 10 diatas, dimana stabilitas sensor selama 30 menit adalah berkisar 1.8  $\mu\text{m}$ .

#### Kesimpulan

1. Pengukuran profil celah berbentuk step miring telah terlaksana dengan hasil yang baik dan presisi.
2. Fenomena terjadinya loncatan titik pantul pada step miring masih terjadi walaupun dapat diatasi dengan mengontrol terutama posisi lensa prisma kontak
3. Diameter sinar laser yang lebih kecil, jarak interval pembacaan yang rapat, tingginya kepresisian gerak mesin membantu mengeliminir problem loncatan titik pantul.
4. Metode prisma kontak ini amat valid dan dapat diterapkan untuk mengukur tempat-tempat yang berada didalam (inner side) baik silinder atau komponen lain, yang sulit dijangkau dengan metode manual biasa.
5. Metode ini dapat dikembangkan menjadi *on-line method* dan disempurnakan untuk berbagai aplikasi pengukuran lainnya.

#### Referensi

1. Xiaoyong AI, Tsuyoshi SHIMIZU, Obi MAKOTO, "Straightness Measurement Using Improved Reversal method.", Journal of JSME, Vol.8, 2002
2. Yongky Permana, Obi MAKOTO, "Study on Machining Center Accuracy using Displacement Method", Proceeding of The Annual Meeting of Japan Society of Mechanical Engineer in Yamanashi, 2003
3. DJ Whitehouse, "Some Theoretical Aspects of Error Separation Techniques in Surface Metrology", J. Phys E. Sci Instrum., 9 (1976), 531
4. Ch., Hoffrogge, R. Mann, H Rademacher: *A Method of Measuring Straightness Using a Starightedge in Two Positions*, Messtechnik, 9 (1972)263