

## PENGGUNAAN KISI PLASTIK DUA DIMENSI PADA PENGUKURAN BENTUK DAN DIMENSI PRODUK MANUFAKTUR SECARA TANPA KONTAK DENGAN TEKNIK *MOIRÉ*

Retno Wigajatri P.<sup>1</sup> dan Dini Andiani<sup>1,2</sup>

1. Program Studi Optoelektroteknika dan Aplikasi Laser, Fakultas Teknik, Kampus UI Salemba, Jakarta 10430, Indonesia
2. Puslitbang KIM LIPI, Puspitek Serpong, Tangerang, Indonesia

E-mail : [spsopto@bit.net.id](mailto:spsopto@bit.net.id)

---

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengukur bentuk dan dimensi obyek dengan teknik *moiré*. Pengukuran dilakukan dengan cara mengamati spasi *moiré* akibat interaksi antara kisi dan bayangan kisi pada permukaan obyek akibat sorotan lampu proyektor dengan kamera CCD (*Charge Coupled Device*). Selanjutnya data yang diperoleh diolah secara *offline*. Dengan melakukan pergeseran fasa berturut-turut sebesar  $\pi/2$ ,  $\pi$  dan  $3\pi/2$  terhadap obyek bola pingpong yang berjarak 48 cm dari sumber cahaya dan kamera CCD, jarak antara sumber cahaya dan kamera CCD 13,5 cm serta spasi kisi 0,5 mm, diperoleh bahwa bentuk permukaan cembung dapat diidentifikasi dengan resolusi sebesar 0,24 mm. Juga ditunjukkan bahwa perbedaan terbesar antar hasil pengukuran teknik *moiré* dengan pengukuran secara kontak CMM (*Coordinate Measuring Machine*) sebesar 0,3 mm.

### Abstract

**The Use of 2D Plastic Grating for Surface Profile and Dimension Manufacture Product Measurements by Using NDT *Moiré* Technique.** Research of measuring the shape and dimension of object using the *moiré* technique have been done. Measurement have been made by observing the *moiré* space as a result of interaction between grating and its shadow casted on the object's surface caused by the projector lamp with CCD camera. The acquired data was further processed by way of off-line. By successive phase shifts that is  $\pi/2$ ,  $\pi$  dan  $3\pi/2$  towards the table tennis ball at the distance of 48 cm from the light source and CCD camera, with the distance between CCD Camera and light source 13,5 cm and grating space 0,5 mm. It was obtained that convex shape can be identified by resolution of 0,24 mm. It was also shown that the biggest difference between the results of using *moiré* technique and the use of CMM contact measurements (*Coordinate Measuring Machine*) was 0,3 mm

*Keywords : shape and dimension of manufacture product, moiré technique, phase shift method*

---

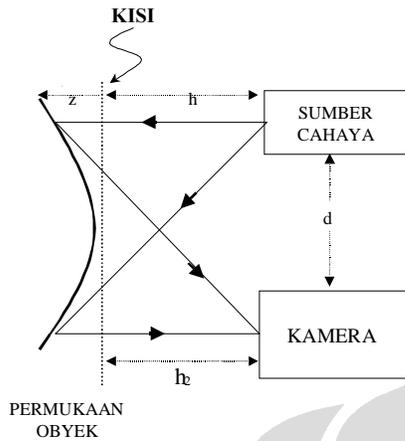
### 1. Pendahuluan

Dalam kontrol kualitas suatu hasil produk dapat dilakukan pengukuran bentuk dan dimensi produk untuk ketepatan dan kesesuaian dengan spesifikasi. Secara garis besar pengukuran tersebut dikelompokkan menjadi dua, yaitu pengukuran dengan dan tanpa kontak. Hingga saat ini telah banyak diteliti tentang pemanfaatan metode optik untuk pengukuran tanpa kontak [1-3], salah satu diantaranya adalah teknik *moiré*. Pada penelitian-penelitian tersebut digunakan berbagai jenis kisi, baik dua dimensi maupun tiga dimensi. Diantaranya terbuat dari benang *acrylic* dan pelat kaca, yang teknik pembuatannya relatif sulit. Pada penelitian

ini akan diteliti pengukuran bentuk dan dimensi produk manufaktur dengan metode optik *moiré* dengan menggunakan kisi yang mudah dibuat, yaitu kisi dua dimensi dari bahan plastik transparan. Metode tersebut dipilih karena pengoperasiannya mudah, tidak memerlukan lingkungan dengan kestabilan yang tinggi dan sumber cahaya yang digunakan tidak perlu koheren.

### 2. Metode Penelitian

Pola *moiré* adalah pola yang terjadi akibat interaksi dua buah kisi. Kisi adalah gambar yang mengandung garis-garis sejajar hitam bening. Pada penelitian ini fenomena *moiré* hendak dimanfaatkan untuk mengukur bentuk



**Gambar 1. Pembentukan kontur moiré dengan sumber dan pengamat pada jarak tertentu dari kisi.**

dan dimensi benda dengan cara mengamati kontur yang terjadi pada benda tersebut. Lebih lanjut interval antar kontur dihitung sehingga dimensi obyek dapat diperoleh. Pada penelitian ini pola moiré terbentuk akibat interaksi antara satu buah kisi dan bayangannya yang jatuh pada obyek.

Baik kamera maupun sumber cahaya berjarak sama dari kisi, dari Wang et. al. [1] diperoleh

$$\Delta z = z_2 - z_1 = \frac{Nph}{d} \quad (1)$$

Dengan  $N = 1, 2, 3, \dots$ ;  $p$  = spasi kisi;  $z$  = posisi kedalaman diukur dari kisi.

Dari perumusan di atas dapat dilihat bahwa perbedaan ketinggian obyek dipengaruhi oleh spasi kisi, jarak antara pengamat/sumber cahaya dan kisi serta jarak antara pengamat dan sumber cahaya. Sebagai contoh jika pada pengukuran  $d = 20$  cm,  $h = 45$  cm dan  $p = 0,5$  mm akan diperoleh perbedaan ketinggian terkecil sebesar 1,12 mm.

Dari contoh di atas dapat dilihat bahwa resolusi yang akan diperoleh relatif rendah. Disamping itu belum diperoleh informasi tentang kecembungan/kecekungan permukaan obyek. Untuk mengatasi hal tersebut, pada penelitian ini digunakan metode pergeseran fasa, yaitu merekam obyek dalam berbagai citra dengan fasa yang berbeda. Metode ini dipilih karena pengoperasiannya relatif mudah, yaitu dengan cara menggeser kisi mendekati permukaan obyek. Berbeda dengan penelitian sebelumnya [4], pada penelitian ini obyek yang digunakan memiliki kemiringan permukaan yang tajam. Telah dibuktikan bahwa jarak  $z$  titik  $P(x,y)$  di permukaan benda dari kisi (bidang referensi) diberikan

sebagai berikut:

$$z(x, y) = \frac{Nhp}{d - Np} + \frac{dph[\phi(x, y)/2\pi]}{(d - Np - p)(d - Np)} \quad (2)$$

dengan  $\phi$  = pergeseran fasa terhadap frinji ke  $N$

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{I_3(x, y) - I_1(x, y)}{I_0(x, y) - I_2(x, y)} \quad (3)$$

$I$  adalah fungsi  $x$  dan  $y$  yang mengandung informasi pada setiap titik, sedangkan  $k = 0, 1, 2, 3$ , yang artinya bahwa frinji moiré berturut-turut digeser sebanyak  $0, \pi/2, \pi$  dan  $3\pi/2$ .

Gambar 2 memperlihatkan susunan perangkat keras untuk percobaan. Kisi G berukuran (26 cm x 18 cm) ditempatkan pada jarak 0,5 cm dari obyek. Obyek yang digunakan adalah bola pingpong yang dicat putih dof untuk menghindari pantulan cahaya spekulat. Lampu tungsten (150 watt) yang terpasang pada slide proyektor digunakan sebagai sumber cahaya, sedangkan sebagai pengamat digunakan kamera CCD. Sumber cahaya dan kamera CCD diletakkan pada jarak 48 cm dari kisi (lampu sumber cahaya dan kamera pada posisi segaris, berjarak sama dari kisi). Sedangkan jarak antara lampu proyektor dan kamera CCD adalah 13,5 cm. Lampu proyektor dan kamera CCD pada posisi dimana obyek dapat ditangkap dengan tajam oleh kamera. Baik sumber cahaya maupun kisi dipasangkan pada statis translasi dengan resolusi pergeseran 10  $\mu$ m. Karena pada percobaan ini pengukuran dilakukan berdasarkan nilai keabuan dari tiap piksel, maka intensitas keabuan dari tiap elemen citra merupakan intensitas cahaya pantul yang diteruskan oleh kisi. Pengukuran dilakukan pada kondisi lingkungan gelap (lampu ruangan dimatikan) agar citra yang ditangkap oleh kamera mempunyai kontras yang cukup tinggi. Lebih lanjut hal ini mempermudah proses pengkondisian data citra oleh komputer. Proses pengkondisian dilakukan untuk mempertegas bagian hitam dan putih citra.



**Gambar 2. Susunan perangkat percobaan**

Kisi terbuat dari plastik transparan setebal 0,12 mm yang biasa digunakan pada *overhead projector*. Dilakukan percobaan untuk berbagai kisi dengan spasi 0,5, 0,4, 0,3, dan 1 mm. Dari pengukuran tahap awal ditunjukkan bahwa citra terbaik diperoleh dengan menggunakan kisi dengan periode 0,5 mm (2 lp/mm). Selanjutnya kisi tersebut digunakan untuk mengukur obyek yang ingin diketahui. Sebagai sensor digunakan kamera *CCD Panasonic* dengan iluminansi minimum 3 lux dan sensor aktif sebanyak 372 piksel (horisontal) dan 496 piksel (vertikal). Pada percobaan ini bidang kisi yang direkam mempunyai luas kira-kira 81 cm<sup>2</sup>. Sinyal keluaran dari kamera masih berupa sinyal analog sehingga harus dirubah terlebih dahulu oleh suatu modul yang disebut *frame grabber*. *Frame grabber* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Video Blaster SE 100* dari *Creative Labs*. Sebagai monitor digunakan *SVGA* dengan resolusi 1024 x 768 piksel. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic*.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Sejumlah pengukuran bentuk dan dimensi dilakukan dengan berbagai variasi jarak antara sumber, pengamat dari kisi dan serta jarak antara pengamat dan sumber cahaya, salah satunya diperlihatkan pada Gambar 3.

Citra yang terekam terdiri dari berbagai tingkat keabuan, oleh karena itu perlu dilakukan pengkondisian terhadap data citra tersebut. Data citra dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu hitam untuk mewakili bagian hitam dari citra dan kondisi putih untuk mewakili bagian yang tidak hitam. Untuk itu perlu didefinisikan tingkat keabuan yang akan membedakan piksel hitam dan piksel putih. Dari hasil percobaan terhadap data citra, diperoleh nilai terbaik untuk tingkat keabuan > 85 sebagai piksel hitam, sedangkan nilai lainnya sebagai piksel putih.

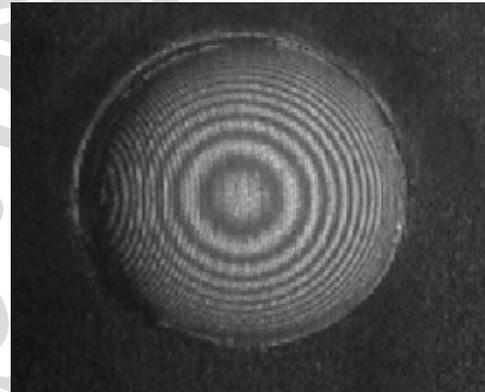
Langkah selanjutnya adalah pengolahan citra yang diperoleh dengan menggunakan perumusan *moiré* (persamaan 1) untuk menentukan ketinggian obyek. Hasil tersebut selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran atas obyek yang sama dengan menggunakan alat ukur yang mensyaratkan pengukuran secara kontak, yaitu *Coordinat Measuring Machine (CMM)*. Jika dibandingkan, dari hasil pengolahan diperoleh harga pada posisi puncak bola sebesar 19,656 mm, sedangkan hasil pengukuran dengan alat ukur *CMM* menunjukkan harga sebesar 20,010 mm, artinya terdapat perbedaan sekitar 0,3 mm.

Selanjutnya perlu diidentifikasi bentuk permukaan obyek, dengan melakukan pergeseran fasa *moiré* pada obyek tersebut sebesar  $\pi/2$ ,  $\pi$  dan  $3\pi/2$  dengan cara menggeser kisi mendekati obyek berturut-turut sejauh 299, 598 dan 897  $\mu\text{m}$ . Secara bersamaan sumber cahaya

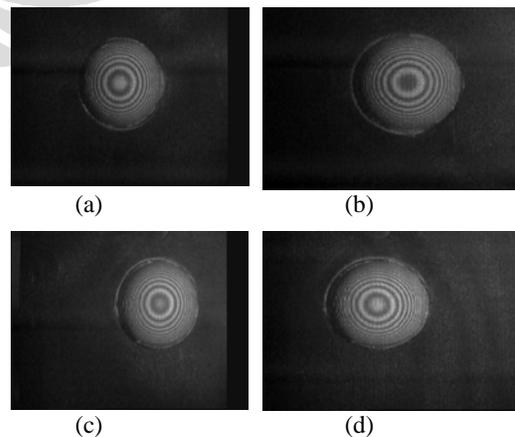
digeser mendekati kamera *CCD* sejauh 125, 250 dan 375  $\mu\text{m}$ , selanjutnya keempat citra tersebut direkam, seperti terlihat pada Gambar 4.

Keempat citra tersebut kemudian diolah dengan komputer secara *offline*, hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5. Selanjutnya hasil tersebut dibandingkan dengan dengan data hasil pengukuran obyek yang sama dengan *CMM*. Untuk itu perlu digunakan penampang vertikal bagian tengah, hasilnya ditunjukkan pada Gambar 6. Garis kontinu mewakili pengukuran dengan teknik *moiré*, sedangkan lingkaran mewakili pengukuran dengan *CMM*.

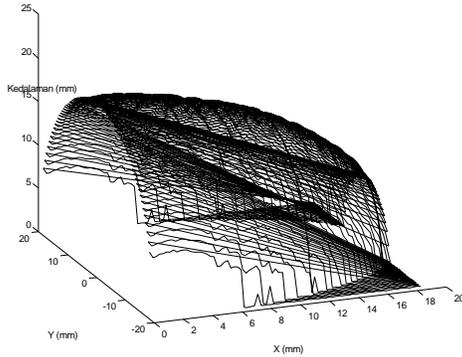
Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa hasil pengukuran dengan teknik *moiré* terdapat penyimpangan dari bentuk aslinya pada beberapa titik, terutama pada bagian kiri penampang vertikal, garis terputus pada posisi kedalaman 2 mm. Hal ini dikarenakan pola



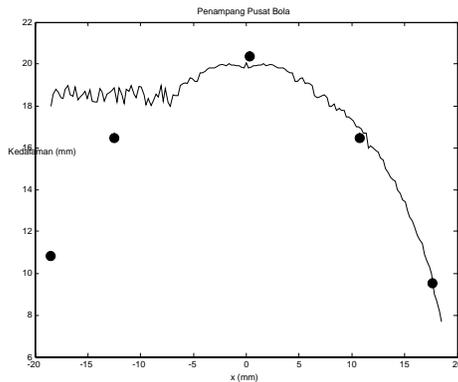
Gambar 3. Citra *moiré* bola pingpong dengan  $d = 13,5$  cm,  $h = 48$  cm dan  $p$  kisi = 0,5 mm



Gambar 4. Citra *moiré* dengan (a)  $\phi = 0$ , (b)  $\phi = \pi/2$  (c)  $\phi = \pi$  dan (d)  $\phi = 3\pi/2$  dengan  $d = 13,5$  cm,  $h = 48$  cm dan  $p$  kisi = 0,5 mm



Gambar 5. Hasil komputasi pergeseran fasa pada citra gambar 4.



Gambar 6. Perbandingan dengan pengukuran secara kontak. Garis kontinu mewakili pengukuran dengan teknik *moiré*, lingkaran mewakili pengukuran dengan *CMM*.

*moiré* yang terjadi pada daerah tersebut tidak jelas. Juga ditunjukkan bahwa garis penampang yang dihasilkan tidak halus namun berlekuk-lekuk. Hal ini diduga akibat

*noise* yang muncul karena antara lain disebabkan oleh ketidaksempurnaan celah titik pada sumber cahaya, kisi yang tidak transparan sempurna pada bagian terangnya (bukan udara) serta kotoran yang menempel pada kisi.

#### 4. Kesimpulan

Kisi plastik ( $p = 0,5$  mm) dapat digunakan untuk pengukuran bentuk dan dimensi obyek bola pingpong dengan teknik *moiré*. Pergeseran fasa dapat mengidentifikasi permukaan cembung dengan resolusi sebesar 0,24 mm. Teknik ini sesuai untuk digunakan sebagai teknik pengukuran kualitas hasil produksi yang mensyaratkan ketelitian pada rentang resolusi tersebut.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Indonesia selaku sponsor penelitian ini melalui RUUI 2001-2002 serta Pimpinan PT Astra Daihatsu Motor Casting Plant dan Engine Plant, Bapak Yunus Makmun beserta staf atas kesempatan yang diberikan untuk berdiskusi dan menggunakan fasilitas pengukuran dengan *CMM* (*Coordinate Measuring Machine*).

#### Daftar acuan

1. S. Wang, C.J. Tay, C. Quan, H.M. Shang, *Applied Optics* 41 (2002) 101.
2. M. Saganuma, T. Yoshizawa, *Optical Engineering* 30 (1991) 1529.
3. M.D. Ibrahim, *Optics and Laser Engineering* 3 (1982) 65.
4. D.M. Meadows, W.O. Johnson, J.B. Allen, *Applied Optics* 9 (1970) 942.
5. T. Yoshizawa, T. Tomisawa, *Optical Engineering* 32 (1993) 1668.
6. H. Takasaki, *Applied Optics* 9 (1970) 1457.