

M7-007 Studi Eksperimental Pengukuran Medan Perpindahan Dengan Menggunakan Metode Moire

¹Hidayat, ² Agus Sigit Pramono, ³Heru Setijono

^{1,2}Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin, ³Jurusan Teknik Fisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

Phone: +62-31-5938773, FAX: +62-31-5938773, E-mail: hidayat_marlang@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam suatu struktur atau mesin, faktor kekuatan material sangat penting karena berhubungan dengan keamanan bagi manusia dan peralatan yang berada di atas atau di dalam struktur/ mesin tersebut. Kegagalan yang terjadi dapat mengakibatkan berhentinya operasi sistem, meningkatnya biaya perbaikan, bahkan hilangnya seluruh investasi dan jiwa bila efek yang ditimbulkan berupa kebakaran. Stress-Strain adalah parameter yang menggambarkan besar beban yang ditanggung oleh material tersebut. Bila kemampuan material lebih rendah dari beban tersebut, maka material dinyatakan gagal. Akibat perkembangan kebutuhan, disain dari struktur/mesin menjadi semakin kompleks. Teori yang ada belum mampu mengatasinya, sehingga dibutuhkan metode numerik. Pada metode ini, mempunyai kekurangan karena banyak asumsi asumsi yang diambil. Eksperimen dalam skala laboratorium adalah jawaban dari kedua permasalahan di atas. Akan tetapi eksperimen dengan alat ukur konvensional hanya dapat mengukur pada satu titik saja. Padahal pengukuran dalam suatu permukaan/ medan sangat diperlukan.

Metode Moire menjadi pilihan dalam pengukuran perpindahan/deformasi karena lebih mudah dan tidak memerlukan peralatan yang canggih dan mahal dengan hasil yang cukup akurat. Sebagai obyek penelitian adalah plat bujursangkar yang dijepit disemua sisinya dan diberi beban terpusat ditengah-tengahnya dengan besar yang bervariasi. Pengolahan pola gelap-terang (fringes) hasil kamera digital atau images processing dilakukan dengan software. Sebagai pembanding digunakan metode analitis dan numerik. Hasil eksperimen diperoleh menunjukkan bahwa rata perbedaan perpindahan yang dialami oleh plat antara metode moire dan numerik adalah berkisar 4,6% dan antara metode moire dan analitis teoritis berkisar 6,2%.

Keyword : eksperimen, fringe, metode Moire, stress-strain.

PENDAHULUAN

Perilaku deformasi suatu material adalah terjadinya perubahan bentuk dari material tersebut akibat adanya pembebanan atau perubahan temperatur sehingga bisa menyebabkan terjadinya patah pada material tersebut. Pengamatan deformasi merupakan hal yang sangat penting dalam mendesain suatu material atau penggunaannya dalam suatu konstruksi.

Strain atau regangan diukur untuk mengetahui besarnya deformasi pada saat terjadinya tegangan mekanik sehingga didapat besaran gaya yang terjadi seperti beban ataupun tegangan. Selain itu juga digunakan untuk memperoleh nilai keamanan / kekuatan suatu bahan atau suatu elemen struktural yang mengandung bahan tersebut.

Gaya yang diberikan pada suatu benda logam (material ferrit / konduktif), selain menimbulkan deformasi bentuk fisik juga menimbulkan perubahan sifat resistansi elektrik benda tersebut. Dalam hal ini, dengan menempelkan jenis material tersebut pada suatu benda uji (*specimen*) menggunakan suatu perekat yang isolatif terhadap arus listrik, maka material tadi akan menghasilkan adanya perubahan resistansi yang nilainya sebanding terhadap deformasi bentuknya. Karena adanya kesebandingan tersebut maka dapatlah dikatakan material ini sebagai sensor. Sensor / material inilah yang disebut *strain gauge*.

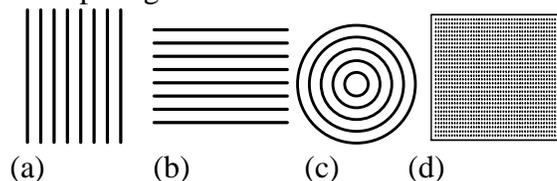
Kata “moiré” (baca : MWAREH) bukanlah nama seseorang, tetapi berasal dari bahasa Prancis yang berarti berair. Pola moiré adalah pola gelap terang atau **frinji** yang terbentuk karena adanya penumpukan (overlapping) dua buah kisi (grating). Sedangkan penumpukan kedua buah kisi tersebut dikenal dengan teknik moiré.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh nilai stress yang dialami plat uji akibat adanya pembebanan pusat dengan menggunakan metode non kontak yaitu metode moire, memperoleh besaran defleksi dan membandingkan dengan hasil analitis dan numeris.

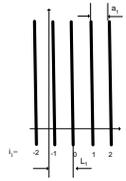
Dasar Teori

Pola moiré merupakan sebuah konfigurasi yang dihasilkan dari superposisi dua atau lebih pola kisi dengan kandungan intensitas gelap terang dengan intensitas gelap terang yang periodik. Lebar garis gelap dan lebar antar garis atau garis terang biasanya sama, namun dalam beberapa kasus bisa berbeda. Tetapi dalam hal ini akan di asumsikan bahwa bahwa kisi di buat dari sistem garis gelap dan terang dengan lebar sama. Pola kisi ini dapat berbentuk garis, lingkaran dan sebagainya. Namun yang lebih umum di aplikasikan adalah kisi garis karena paling sederhana untuk dianalisa.



Gambar 1. Beberapa contoh kisi pembentuk pola moiré (a). Kisi garis vertikal, (b). Kisi garis horisontal, (c) kisi berbentuk lingkaran, (d). kisi berbentuk dot

Efek dari pola moiré ini pertama kali diturunkan secara matematis oleh Dr. G. Oster pada tahun 1963 untuk keperluan pengukuran [6]. Sebuah kisi yang ditunjukkan dalam koordinat Cartesian seperti pada gambar terdiri dari garis-garis berarah vertikal dengan jarak antara garis adalah a_1 . Pada gambar di bawah terlihat bahwa i_1 menyatakan indeks garis dan L_1 memberikan jarak titik potong garis ke 0 terhadap titik asal.

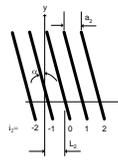


Gambar 2. Dimensi pada sebuah pola kisi yang berbentuk garis

Maka persamaan yang menunjukkan garis-garis indeks ke-n pada gambar di atas adalah :

$$x = L_1 + i_n \cdot a_1 \quad [1]$$

Dapat dilihat pada gambar 3 selanjutnya menunjukkan bahwa kisi garis vertikal tadi di putar ke kiri (berlawanan arah jarum jam) dengan besar sudut adalah α dengan indeks garis i_2 , jarak perpotongan garis ke-0 dengan sumbu x terhadap titik asal (0,0) dinyatakan dengan L_2 .

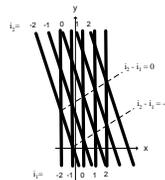


Gambar 3. Kisi yang diberi kemiringan dengan sudut sebesar α

Dari gambar 3 maka diturunkan sehingga dapat diperoleh persamaan garis-garis adalah :

$$y = \frac{-L_2 \cos \alpha + i_2 a_2}{\sin \alpha} \quad [2]$$

Seperti yang telah di uraikan di atas bahwa untuk mendapatkan efek moiré maka dua buah kisi disuperposisikan sehingga akan tampak sebuah pola baru yang bisa dilihat sebagai garis putus-putus seperti terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Superposisi dari dua pola kisi yang menghasilkan pola moiré

Gambar 4 memperlihatkan pola moiré dengan superposisi dua kisi dengan sudut α , persamaan yang memenuhi posisi gambar di atas adalah :

$$i_2 - i_1 = i_m \quad i_m = \dots, -1, 0, 1, \dots \quad [3]$$

Dengan mensubstitusikan persamaan [1] dan [2] ke dalam persamaan [3] maka akan diperoleh :

$$i_m = \frac{x - L_1 - (-L_2 \cos \alpha + y \sin \alpha)}{a_1 - a_2} \quad [4]$$

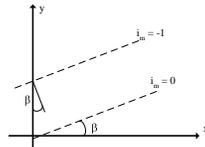
sehingga memberikan persamaan garis moiré sebagai berikut :

$$y = \frac{x \left(\frac{a_2}{a_1} - \cos \alpha \right) - L_1 \frac{a_2}{a_1} + L_2 \cos \alpha - i_m a_2}{\sin \alpha} \quad [5]$$

Sudut kemiringan garis moiré terhadap sumbu x berdasarkan persamaan [2-5] adalah sama dengan :

$$\beta = \arctan \left(\frac{\frac{a_2}{a_1} - \cos \alpha}{\sin \alpha} \right) \quad [6]$$

yang letaknya ditunjukkan dalam gambar 5.



Gambar 5. Sudut kemiringan garis moiré yang terbentuk

Jarak antara dua titik potong yang berurutan dengan sumbu y diberikan oleh :

$$y_{im-1} - y_{im} = \frac{a_2}{\sin \alpha} \quad [7]$$

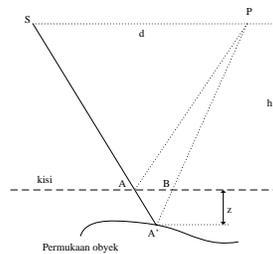
Dan gambar 5 menunjukkan bahwa jarak antar spasi moiré adalah :

$$s_m = (y_{im-1} - y_{im}) \cos \beta \quad [8]$$

Penggabungan persamaan [6] dan [8] menghasilkan persamaan spasi moiré sebagai berikut:

$$s_m = \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 - 2a_1 a_2 \cos \alpha}} \quad [9]$$

Pada teknik bayangan moiré digunakan selembur kisi garis yang diposisikan di depan obyek dan paralel terhadap bidang obyek. Kisi tersebut diterangi oleh sumber cahaya di titik S sehingga muncul pola garis yang terproyeksi pada permukaan obyek, lihat gambar 2.9. Hasil interaksi antara kisi terproyeksi dan kisi asli akan memunculkan pola moiré yang diinginkan dan selanjutnya di amati dari titik pengamat P. Pengamat dapat berupa sebuah lensa kamera atau mata telanjang.



Gambar 2.11 Perangkat dalam pengukuran obyek teknik bayangan moiré

Titik S dan P yang terpisah sejauh d diposisikan pada jarak h yang sama dari bidang kisi sehingga muncul hubungan yang konsisten antara pola moiré yang terbentuk dari profil ketinggian obyek uji [2]. Pada gambar 2.9 dimisalkan titik A sebagai sebuah titik sebarang dalam kisi. Ketika titik tersebut diproyeksikan di titik A' pada obyek yang berjarak z akan muncul titik B sebagai perpotongan A'P dengan kisi.

Dengan melihat $\Delta SA'P$ dan $\Delta AA'B$ adalah dua buah segitiga yang sebangun maka diperoleh hubungan:

$$\frac{AB}{SP} = \frac{A'A}{A'S} = \frac{z}{z+h} \quad [10]$$

atau

$$AB = \frac{zd}{z+h} \quad [11]$$

Sebuah garis moiré akan muncul ketika titik A dan B masing-masing bertepatan dengan satu kisi garis yang berlainan. Apabila s adalah spasi kisi, dan titik A serta B terpaut sebesar N garis kisi, maka dapat dituliskan :

$$N_1 s = \frac{z_1 d}{z_1 + h} \quad [12]$$

dan untuk pasangan AB lainnya :

$$N_2 s = \frac{z_2 d}{z_2 + h} \quad [13]$$

Apabila besar ketinggian obyek terhadap bidang kisi sangat kecil dibandingkan jarak kisi terhadap sumber dan pengamat ($z \ll h$), maka persamaan [2-31] dan [2-32] akan menghasilkan hubungan :

$$N_2 - N_1 s \approx \frac{z_2 - z_1 d}{h} \quad [14]$$

Persamaan [2-33] menunjukkan korelasi sebanding antara perbedaan ketinggian dua buah titik terhadap bidang kisi dan jarak antara dua buah garis moiré. Hal tersebut merupakan kontur permukaan yang diinginkan.

Beda ketinggian yang ditunjukkan di antara N garis kisi dinyatakan dalam persamaan :

$$\Delta z = \frac{Nhs}{d} \quad [15]$$

sehingga besar ketinggian terkecil yang dapat diamati ($N=1$) adalah hs/d .

Penggunaan Frinji Moire Dalam Perhitungan Perpindahan

Contoh kasus yang paling sederhana tentang keterkaitan antar frinji moire yang dihasilkan oleh superposisi dua buah kisis telah kita bahas sebelumnya dimana kisi yang satu tetap sedangkan kisi yang lainnya mengalami pergeseran.

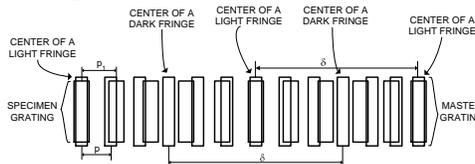
Diasumsikan pada kisi spesimen yang semula mempunyai pitch (jarak kisi) adalah p kemudian berubah menjadi p_1 akibat adanya perubahan panjang pada spesimen. Besar pergeseran (displacement) yang terjadi pada frinji ke- n adalah np . Dari hubungan tersebut jika kita asumsi bahwa ada m buah garis pada kisi referensi yang terletak di antara dua frinji, maka :

$$\delta = mp = (n \pm 1) p_1 \quad [16]$$

Dari persamaan [10] diperoleh persamaan untuk menentukan jarak pitch spesimen adalah :

$$p_1 = p \frac{m}{m \pm 1} = \frac{\delta}{\frac{\delta}{p} \pm 1} \quad [17]$$

Jika diantara dua frinji ada m buah garis pada kisi referensi, maka akan terdapat $(m \pm 1)$ garis pada kisi spesimen, sehingga pada suatu jarak tertentu jika ada n buah frinji maka ada nm garis pada kisi referensi dan ada $n(m \pm 1)$ buah garis pada kisi spesimen [4].



Gambar 6. Skema frinji tanpa rotasi pada kisi

Dari persamaan [11] maka :

$$\frac{1}{\delta} = \pm \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p_1} \right) = \pm \frac{p_1 - p}{p \cdot p_1} \quad [18]$$

Selanjutnya diperoleh:

$$\frac{p}{\delta} = \pm \frac{p_1 - p}{p_1} \quad [19]$$

Dari persamaan kita lihat bahwa jika jarak pitch spesimen adalah p_1 kemudian p adalah jarak pitch spesimen setelah terjadinya perubahan panjang spesimen maka nilai $\pm \frac{p_1 - p}{p_1}$ adalah identik dengan nilai strain untuk kisi dengan jarak pitch adalah p_1 .

Aplikasi Metode Ritz Pada Plat Persegi

Energi regangan U identik dengan bending yang dialami oleh sebuah plate, dimana bisa di asumsikan bahwa kerja yang dihasilkan oleh gaya lateral pada permukaan plate $p(x,y)$ adalah:

$$W = \iint_A wp \, dx \, dy \quad [20]$$

Dimana A adalah luas daerah permukaan plate. Energi potensial $\Pi = U - W$ yaitu:

$$\Pi = \frac{D}{2} \iint_A \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 - 2 \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy - \iint_A wp \, dx dy \quad [21]$$

Persamaan besaran defleksi dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \left(1 - \cos \frac{2m\pi x}{a} \right) \left(1 - \cos \frac{2n\pi y}{b} \right) \quad [22]$$

Untuk kasus plat persegi maka nilai $a = b$ dengan asumsi bahwa plat tersebut di jepit pada keempat sisinya kemudian diberi beban terpusat P pada permukaan dengan koordinat beban adalah (x_1, y_1) sehingga persamaan [15] menjadi :

$$W = P \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \left(1 - \cos \frac{2m\pi x_1}{a} \right) \left(1 - \cos \frac{2n\pi y_1}{b} \right) \quad [23]$$

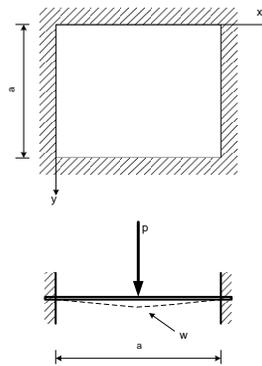
Dimana :

$$U = 2\pi^4 abD \left\{ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[3 \left(\frac{m}{a} \right)^4 + 3 \left(\frac{n}{b} \right)^4 + 2 \left(\frac{m}{a} \right)^2 \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right] a^2_{mn} + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \sum_{s=1}^{\infty} 2 \left(\frac{m}{a} \right)^4 a_{mr} a_{ms} + \sum_{r=1}^{\infty} \sum_{s=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} 2 \left(\frac{n}{b} \right)^4 a_{rn} a_{sn} \right\} \quad [24]$$

dengan kondisi $\frac{\partial \Pi}{\partial a_{mn}} = 0$, maka persamaan [22] dan [23] menjadi:

$$4\pi^4 abD \left\{ \left[3 \left(\frac{m}{a} \right)^4 + 3 \left(\frac{n}{b} \right)^4 + 2 \left(\frac{m}{a} \right)^2 \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right] a_{mn} + \sum_{r=1}^{\infty} 2 \left(\frac{m}{a} \right)^4 a_{mr} + \sum_{r=1}^{\infty} 2 \left(\frac{n}{b} \right)^4 a_{rn} \right\} - P \left(1 - \cos \frac{2m\pi x_1}{a} \right) \left(1 - \cos \frac{2n\pi y_1}{b} \right) = 0 \quad [24]$$

Dari persamaan [20] untuk aplikasi pada plat persegi adalah dengan mensubstitusi nilai $a = b$, dengan nilai $r \neq n$ dan $r \neq m$.



Gambar 7. Skema Plat Uji dan Arah Pembebanan

METODOLOGI PENELITIAN

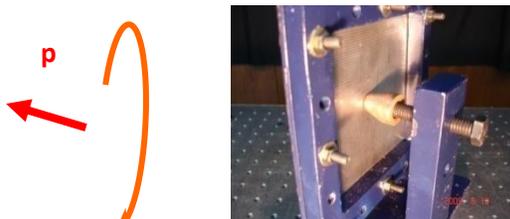
Pelaksanaan eksperimen dilakukan di Laboratorium Fotonika Jurusan Teknik Fisika ITS dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Spesimen uji berupa baja berbentuk bujursangkar yang berukuran 150x150 cm di sablon bentuk kisi dot pada permukaannya dengan variasi ukuran mulai dari 1 mm, kemudian spesimen uji di jepit pada spesimen uji. Kemudian tumpuan jepit spesimen uji di baut untuk menjepit spesimen.
- Letakkan kisi master di atas tumpuan jepit tepat di depan spesimen uji sedemikian rupa sehingga bayangan kisi master tepat berada di atas kisi dot supaya tidak terbentuk pola moire.
- Letakkan dial indikator tepat di belakang baut beban untuk mengetahui besar displacement yang akan diberikan pada plat uji dengan terlebih dahulu mengkalibrasi penunjukan dial indikator. Nilai skala terkecil pada dial indikator tersebut adalah 0,01 mm.



Gambar 8. Dial Indikator

- Spesimen uji diberi displacement yang bervariasi berupa pembebanan terpusat dengan memutar baut sehingga spesimen mengalami defleksi pada perpotongan diagonalnya.

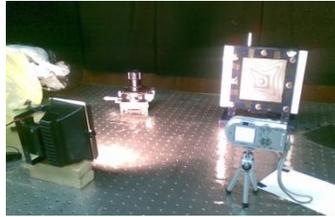


Gambar 9. Tumpuan Jepit Spesimen Uji

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

- Setting peralatan optis berupa kamera di depan kisi master pada jarak tertentu dan lampu halogen dengan sudut tertentu terhadap kisi master sehingga di dapatkan pola moire, jika pola moire tidak kelihatan maka lakukan setting peralatan optis tersebut hingga pola moire yang didapatkan cukup baik.



Gambar 10. Setting Peralatan Optis

- Gambar yang diperoleh pada kamera digital selanjutnya diolah oleh software MATLAB untuk mengetahui besar jarak spasi moire yang selanjutnya dipakai untuk menentukan besar strain material akibat adanya pembebanan terpusat.



Gambar 11. Pola Moire untuk displacement pada pusat sebesar 1.5 mm

Pola moire yang dihasilkan untuk pembebanan pusat sebesar 1,5 mm seperti terlihat pada gambar 4.7 di atas menghasilkan semakin banyak frinji. Pada gambar terlihat pembentukan frinji terang pada pusat pembebanan sehingga jumlah frinji bertambah jika pembebanan pada pusat berupa displacement juga semakin besar.

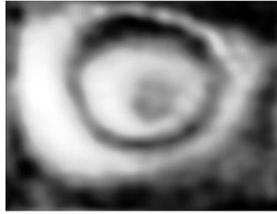
IMAGE PROCESSING

Setelah tahap pengambilan foto telah dilakukan maka untuk mendapatkan hasil pengukuran dari foto tersebut maka dilakukan image processing dengan menggunakan software dalam hal ini peneliti menggunakan software MATLAB.

Tahap-tahap pengolahan citra yang dilakukan pada penelitian ini adalah meliputi :

a. Filter Dengan Menggunakan Fast Fourier Transform (FFT)

Transformasi sangat penting untuk berbagai masalah dalam pemrosesan citra termasuk penajaman, analisis, perbaikan dan kompresi citra. Pada tahap ini diharapkan gambar yang diperoleh bisa lebih tajam karena noise yang terdapat pada citra bisa dihilangkan. Berikut ditampilkan contoh gambar yang dihasilkan oleh hasil filter image untuk pola moire dengan displacement sebesar 1,5 mm [5].

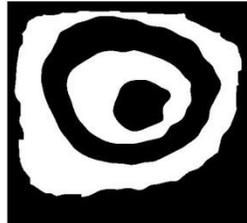


Gambar 12. Hasil Filter Image dengan menggunakan FFT Untuk Displacement 1,5 mm

b. Image Biner

Tahap ini disebut image biner atau citra biner yaitu citra dengan nilai setiap piksel diasumsikan salah satu dari dua nilai diskrit, yaitu nilai “on” dan nilai off. Penggunaan citra biner memudahkan untuk membedakan fitur-fitur struktural, misalnya membedakan objek dari latar belakang.

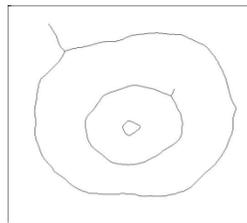
Setelah image di filter dengan menggunakan FFT selanjutnya dilakukan proses biner dan hasilnya seperti pada gambar 13 di bawah ini :



Gambar 13. Hasil Image Biner Untuk displacement 1,5 mm

c. Image Thinned

Setelah proses image biner menghasilkan sebuah citra yang terdiri dari warna hitam dan putih maka selanjutnya dilakukan image thinned, yaitu dengan membuat sebuah pola yang berbentuk garis berdasarkan pola terang yang terbentuk dimana dari hasil pola tersebut nanti akan menghasilkan sebuah hasil pengukuran yang mengacu kepada jarak antar garis-garis yang terbentuk dalam arah horisontal dan vertikal. Image thinned dapat kita lihat pada gambar 14 [7].



Gambar 14. Image Thinned Untuk Displacement 1,5 mm

Dengan menggunakan persamaan [15] maka dari gambar 14 diperoleh nilai medan deformasi pada plat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memvalidasi data yang dihasilkan antara metode numerik dan metode moire maka hasil pengukuran medan perpindahan yang dihasilkan diambil 4 buah titik yang masing-masing berjarak 1 cm mulai dari titik pusat (perpotongan diagonal plat) dalam arah horisontal menjauhi titik pusat tersebut.

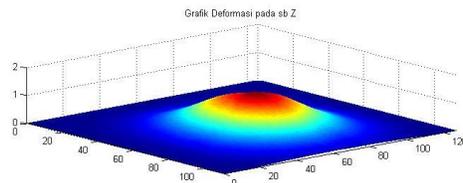


Gambar 15. Titik-titik Validasi Data pada Plat Uji

Tabel 1. Validasi Displacement Untuk Displacement Pusat 1,5 mm

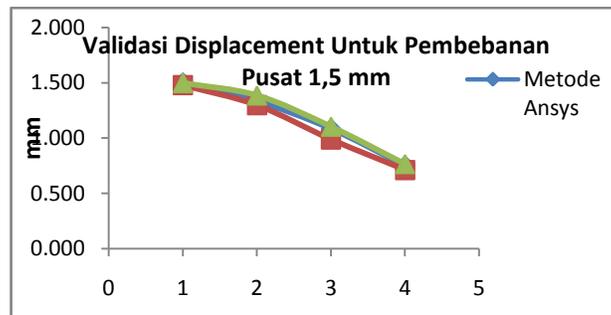
Titik	Numerik (mm)	Metode Moire (mm)	Teori (mm)
1	1,503	1,479	1,5
2	1,336	1,298	1,387
3	1,085	0,988	1,104
4	0,751	0,713	0.765

Tabel 1 terlihat bahwa deformasi dalam arah sumbu z yang terjadi pada plat jika diberi pembebanan pusat berupa deformasi sebesar 1,5 mm maka semakin jauh titik validasi tersebut dari pusat beban maka semakin kecil pula deformasi yang dialami oleh plat tersebut.



Gambar 18. Countour Plat Untuk Displacement Pusat 1,5 mm

Gambar 18 menunjukkan bentuk deformasi yang dialami oleh plat uji jika diberi pembebanan pusat sebesar 1,5 mm.



Gambar 19. Grafik Validasi Perpindahan Untuk Pembebanan Pusat 1,5 mm.

Perbedaan besaran deformasi yang dialami oleh plat uji dapat terlihat pada gambar 19 dimana dengan menggunakan metode moire maka plat uji deformasi yang dialami oleh plat tersebut cenderung lebih rendah dibandingkan dua metode yang lain. Perbedaan antara metode moire dengan numerik rata-rata adalah 4,6% sedangkan antara metode moire dengan analitis teoritis rata-rata adalah 6,2%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan kemudian hasil pengukuran dengan menggunakan tiga metode yaitu metode numerik, metode moire dan metode teoritis diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Besaran deformasi yang terjadi pada plat uji dapat terukur dengan image processing software Matlab, tetapi jika dibandingkan dengan cara teoritis maka ada perbedaan nilai berkisar 6,8% dan jika dibandingkan dengan numerik maka perbedaan berkisar 4,6%.
- Sensitivitas pola moire terhadap displacement sangat besar sehingga dengan adanya variasi pembebanan yang diberikan berupa displacement pusat pada plat uji akan sangat berpengaruh terhadap pola gelap terang yang dihasilkan.
- Secara numerik, teoritis dan metode moire terdapat perbedaan hasil pengukuran yang antara lain disebabkan oleh kualitas pola gelap terang yang dihasilkan kurang maksimal sebagai acuan software Matlab untuk melakukan pengolahan citra yang akan menghasilkan hasil pengukuran.

Referensi

- [1] Ansel C. Ugural, *Stresses in Plates and Shells*, New Jersey Institute Of Technology, Second Edition, Mc Graw Hill, 1999.
- [2] D.Post, B. Han and P.Ifju, *High Sensitivity Moire, Experimental Analysis for Mechanics and Materials*, Springer Verlag, New York, 1994.
- [3] Durelli, A.J., Parks, V,J, *Moire Analysis of Strain*, Prentice Hall, INC Englewood Cliffs, New Jersey, 1970
- [4] Isaac Amidror, *The Theory Of The Moire Phenomenom*, ISBN-10 1-4020-5458-0 (e-book), Springer, 2007.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

- [5] Marvin Ch. Wijaya & Agus Prijono, *Pengolahan Citra Digital Menggunakan Software Matlab*, Penerbit Informatika Bandung, 2007.
 - [6] Nugrowati, Aura Mimosa, *Penerapan dan Perbandingan Teknik Proyeksi Moire Pencahayaan Tunggal dan Ganda Dalam Profilometri Tiga Dimensi*, Thesis Magister Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung, 2003.
 - [7] Rinaldi Munir, *Pengolahan Citra Digital Dengan Pendekatan Algoritmik*, Penerbit Informatika Bandung, 2004.
-