

Sistem Interferometer *Michelson* untuk Mengukur Regangan pada Mesin Uji Tarik

Budi Setyahandana^{1*}, Martanto¹, Ronny Dwi Agusulistyo²,
Agung Bambang Setyo Utomo³

¹Jurusan Teknik Mesin, FST, Universitas Sanata Dharma
Kampus Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman 55283

²Jurusan Desain Produk Mekatronika, Politeknik Mekatronika Sanata Dharma
Kampus Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman 55283

³Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada
Sekip Unit 3 Bulaksumur, Yogyakarta 55281

*Korespondensi penulis, e-mail: budisetya@dosen.usd.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian sistem interferometer *Michelson* beserta akuisisi datanya, yang digunakan untuk pengukuran regangan pada mesin uji tarik. Cermin gerak sistem interferometer *Michelson* dipasang pada penjepit benda uji mesin uji tarik. Ketika beban diberikan pada benda uji, benda uji mengalami pertambahan panjang dan mengakibatkan terjadi perbedaan panjang gelombang berkas sinar laser. Perbedaan panjang gelombang ini menyebabkan terjadinya interferensi, serta menghasilkan pola interferensi berupa pola gelap terang (*frinji*). Pola interferensi akan terdeteksi sensor phototransistor berupa sinyal gelombang, kemudian direkam dan diolah oleh *interface* rangkaian elektronika dan rangkaian mikrokontroler, serta dikonversikan dan ditampilkan sebagai pergeseran atau pertambahan panjang (regangan) benda uji. Hasil percobaan sistem interferometer *Michelson* diperoleh bahwa rerata standar deviasi pada saat *crosshead* turun tanpa beban adalah 0,02 (0,37%), dimana gerakan *crosshead* turun ke bawah sampai pada batas di bawah 9 mm. Ini menunjukkan bahwa pengukuran gerakan (*displacement*) yang terbaik maksimal 9 mm. Pengukuran *displacement* dengan menggunakan benda uji aluminium menghasilkan rerata standar deviasi 0,023 (0,2%) dan 0,074 (0,08%), nampak bahwa sistem interferometer sangat mendekati pengukuran dengan ekstensometer. Pengukuran *displacement* dengan menggunakan benda uji baja karbon rendah berbentuk batang menghasilkan rerata deviasinya sebesar 0,08 (0,72%). Ini menunjukkan bahwa akurasi pengukuran pada saat benda uji terpasang menjadi berkurang dibanding pengukuran pada *crosshead* tanpa beban.

Kata kunci: Cermin gerak, berkas sinar laser, pola interferensi, pergeseran, benda uji.

ABSTRACT

Hasdone research *Michelson* interferometer system along with data acquisition, which is used for measuring strain in the tensile testing machine. Moveable mirror *Michelson* interferometer system mounted on the specimen clamp tensile testing machine. When the load is given in the test specimen, the specimen having the length and cause of any difference wave length of the laser beam. The wave length differences cause interference, and produce an interference pattern in the form of dark-light pattern (*fringe*). Interference pattern will be detected phototransistor sensor signal wave form, then recorded and processed by electronic circuits and interface microcontroller circuit, as well as converted and displayed as a displacement/increase in length (strain) of the test specimen. The experimental results obtained by the *Michelson* interferometer system that measures the movement (*displacement*) of the best maximum 9 mm. Displacement measurements using aluminium specimens produced a mean standard deviation of 0.023 (0.2%) and 0.074 (0.08%), and use of low carbon steel specimen rods produce a mean deviation of 0.08 (0.72%). appears that the system is very close to the measurement interferometer with ekstensometer. Measurement accuracy at the time of the test specimen is attached to be reduced compared to the measurements on the *crosshead* without load, due to a growing vibration machine.

Keywords: Moveable mirror, laser beam, interference pattern, displacement, specimen

PENDAHULUAN

Interferometer *Michelson* adalah alat eksperimen yang didasarkan pada interferensi dari dua gelombang cahaya yang lintasan optisnya berbeda. Karena itu penerapan dari interferometer ini berhubungan dengan pengukuran besaran-besaran yang terkait dengan jarak dan indeks bias bahan. Seabad yang lalu, interferometer ini merupakan alat penting untuk menunjukkan adanya teori relativitas. Akhir-akhir ini interferometer *Michelson* ini telah digunakan untuk pengukuran yang teliti hingga orde mikro, seperti perubahan ketebalan yang sangat kecil dari sebuah aksion apabila sebuah impuls merambat sepanjang syaraf itu.

Dalam penelitian ini akan diukur regangan benda uji pada mesin uji tarik. Karena pengaruh gaya tarik, bahan yang diuji akan mengalami perubahan panjang. Besarnya regangan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jenis bahan dan panjang bahan yang diuji. Untuk beberapa bahan besarnya regangan sangat kecil, sehingga sulit untuk diamati dengan mesin konvensional. Akurasi sistem interferometer *Michelson* dipengaruhi oleh getaran yang ditimbulkan disekitar sistem tersebut. Getaran yang ditimbulkan oleh mesin uji tarik juga akan mempengaruhi hasil pengukuran sistem interferometer *Michelson*. Pengukuran dilakukan dengan interferometer *Michelson* yang dilengkapi dengan akuisisi data. Tujuan penelitian adalah memperoleh sistem interferometer yang dirangkai dengan alat uji tarik, serta menggunakannya untuk pengukuran perubahan panjang (regangan) bahan pada mesin uji tarik. Manfaat penelitian adalah memperoleh sistem interferometer yang digunakan untuk mengukur regangan benda uji aluminium dan baja karbon rendah.

Dasar dari interferometer adalah gejala interferensi cahaya. Interferometer telah banyak dikembangkan sehingga dikenal berbagai macam susunan seperti interferometer *Michelson*, *Fabry Perot*, *Mach Zehnder*, *Twyman Green*. Penggunaan interferometer ini tidak terbatas pada bidang fisika tetapi juga telah mencakup bidang terapan.

Pada interferometer *Michelson*, interferensi cahaya dihasilkan dari dua berkas cahaya dengan lintasan yang berbeda. Perubahan lintasan optis (atau besaran lain yang terkait dengan panjang dan indeks bias) akan mempengaruhi pola interferensi. Pengukuran besaran-besaran tersebut dapat dilakukan pada orde panjang gelombang cahaya yang digunakan; dengan ketelitian sampai pada orde *pico* meter [1]. Interferometer *Michelson* telah diterapkan pada berbagai pengukuran diantaranya: pengamatan keadaan permukaan [2], pengamatan getaran sebagai frekuensi meter dan amplitudometer [3].

Pada alat ukur uji tarik, suatu bahan ditarik dengan gaya hingga mengalami perubahan panjang. Pada penarikan dari suatu pengujian bahan, per-

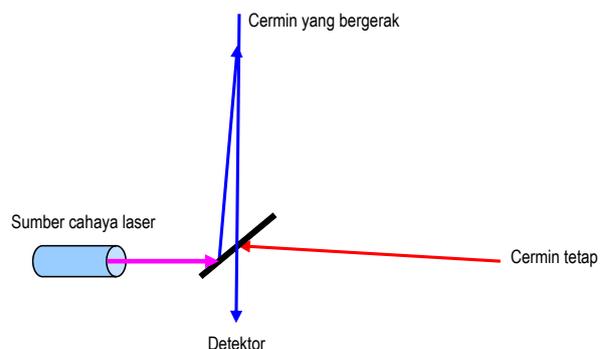
ubahan panjang bahan yang terjadi sangat kecil, karena itu diperlukan alat ukur yang sangat sensitif. Selama ini telah dikenal berbagai macam alat ukur perubahan panjang seperti *resistance strain gage*, transduser *piezoresistive* [4]. Mengingat kemampuan interferometer yang dapat mengukur sampai orde mikrometer, maka interferometer ini akan digunakan pada alat ukur uji tarik untuk menguji bahan yang regangannya kecil seperti aluminium.

Pengukuran perubahan panjang dengan interferometer dilakukan dengan mencacah perubahan pola interferensi. Akurasi data sistem interferometer *Michelson* dipengaruhi oleh getaran yang ditimbulkan disekitar sistem tersebut. Getaran yang ditimbulkan oleh alat uji tarik juga ada kemungkinan mempengaruhi hasil pengukuran sistem interferometer *Michelson*. Agar dihasilkan pengukuran yang teliti, cepat dan terkontrol diperlukan sistem pencacah. *Personal Computer (PC)* sangat membantu dalam pelaksanaan pengukuran, karena kemampuannya untuk mengontrol, mengakuisisi data, mengolah data serta menyajikannya secara cepat dan akurat.

Selama ini telah dilakukan penelitian sistem akuisisi data menggunakan komputer pribadi [5]. Penggunaan komputer juga telah dilakukan penelitian untuk mengontrol, mengambil dan mengolah data pada sistem interferometer *Michelson* [6] dan sistem lainnya [7]. Akuisisi data interferometer *Michelson* untuk digunakan pengukuran regangan pada alat ukur uji tarik [8]. Akuisisi data getaran dengan menggunakan interferometer *Michelson* untuk koreksi pengukuran regangan pada alat ukur uji tarik [9].

Interferometer *Michelson*

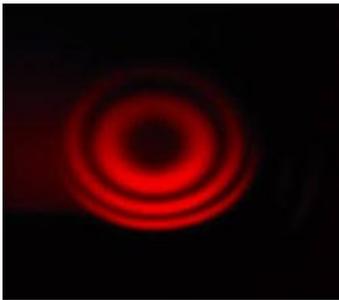
Komponen-komponen utama dari Interferometer *Michelson* ditunjukkan pada Gambar (1).



Gambar 1. Komponen-Komponen Utama Interferometer *Michelson*

Interferometer *Michelson* menggunakan cahaya *monochromatis* dari sumber tunggal laser. Sinar tersebut mengenai cermin pemecah berkas (*beam*

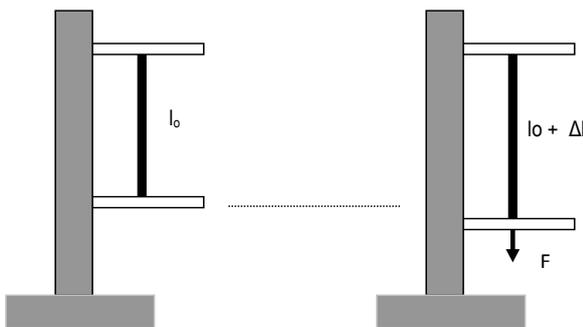
splitter). Sebagian berkas cahaya dipantulkan dan mengenai cermin yang bergerak (*movable mirror*), serta sebagian yang lain dibiaskan dan mengenai cermin yang tetap. Kedua sinar tersebut dipantulkan oleh cermin dan kembali ke cermin pemecah berkas. Sinar dari cermin yang bergerak kemudian dibiaskan dan sinar dari cermin yang tetap dipantulkan oleh cermin pemecah berkas. Kedua sinar tersebut menuju ke pengamat. Pada posisi pengamat, ditempatkan detektor cahaya agar dapat diamati intensitas cahaya yang terjadi pada posisi tersebut. Pola interferensi yang tertangkap oleh layar yang ditempatkan pada detektor adalah seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Pola Interferensi pada Interferometer Michelson

Sistem Interferometer

Penelitian ini akan mencakup pembuatan sistem interferometer yang dapat bekerja secara terkendali dengan bantuan komputer serta menerapkannya pada pengukuran perubahan panjang bahan yang ditarik dengan gaya. Pada mesin uji tarik, suatu bahan yang akan diuji berupa batang dengan panjang l_0 diklem pada kedua ujungnya. Kemudian batang tersebut ditarik dengan gaya F seperti pada Gambar 3. Karena pengaruh gaya, bahan tersebut akan terdeformasi dan mengalami perubahan panjang sebesar Δl .



Gambar 3. Perubahan Panjang

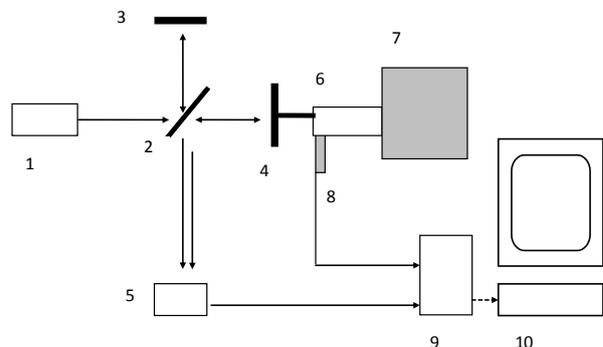
Gambar sebelah kiri menunjukkan sebelum bahan diberi gaya mempunyai panjang l_0 . Gambar sebelah kanan menunjukkan bahan yang dikenai gaya sebesar F , sehingga panjangnya menjadi $l_0 + \Delta l$

Pengukuran penambahan panjang batang dilakukan dengan sistem interferometer berbasis komputer yang mempunyai susunan seperti pada Gambar 5. Berkas laser *He-Ne* diarahkan ke *beam splitter* (2), selanjutnya akan menuju ke cermin tetap (3) dan cermin yang dapat digerakkan (4). Pantulan berkas laser dari kedua cermin tersebut akan berinterferensi menghasilkan pola interferensi berupa pola gelap terang (*frinji*) seperti pada Gambar 4. Pola interferensi yang akan ditangkap oleh fotodetektor (5) tersebut tergantung pada beda lintasan optis kedua berkas.

Lintasan optis salah satu berkas dibuat tetap dengan memasang cermin (3) pada posisi yang tetap. Cermin (4) diletakkan pada salah satu ujung bahan yang ditarik pada alat uji tarik. Karena itu bila bahan mengalami perubahan panjang, letak cermin ini akan bergeser. Sehingga lintasan optis dari berkas ini berubah karena adanya perubahan jarak antara cermin (4) ke *beam splitter* (2). Hal ini akan menyebabkan pola interferensi yang berupa pola gelap terang (*frinji*) yang ditangkap oleh fotodetektor juga berubah. *PC* (10) digunakan untuk mencatat keluaran fotodetektor yang menunjukkan cacah perubahan pola interferensi yang terjadi karena adanya perubahan lintasan optis setelah melalui *interface* (9).



Gambar 4. Pola Interferensi (*Frinji*) oleh Foto detektor



Gambar 5. Susunan Peralatan Pengukur Regangan dengan Interferometer *Michelson*

1. Laser *He-Ne*; 2. *Beam Splitter*; 3. Cermin Tetap; 4. Cermin bergerak; 5. Fotodetektor; 6. Bahan Uji; 7. Alat Ukur Uji Tarik; 8. Sensor Gaya; 9. *Interface*; 10. *PC* Pencatat dan Pengolah Serta Penyaji Data.

Seperti terlihat pada Gambar 5, sistem pengukur regangan dengan interferometer *Michelson* ini bekerja dengan mencacah perubahan pola interferensi saat cermin (4) bergeser. Selama cermin (4) bergerak intensitas cahaya di pusat frinji dicatat oleh foto detektor menghasilkan interferogram, yang selanjutnya digunakan untuk mencacah perubahan frinjinya.

Bila panjang gelombang cahaya dari laser yang digunakan adalah λ , dan ketika cermin (4) bergetar sejauh s , menghasilkan cacah perulangan frinji yang terdeteksi oleh fotodetektor sebanyak n maka akan dipenuhi:

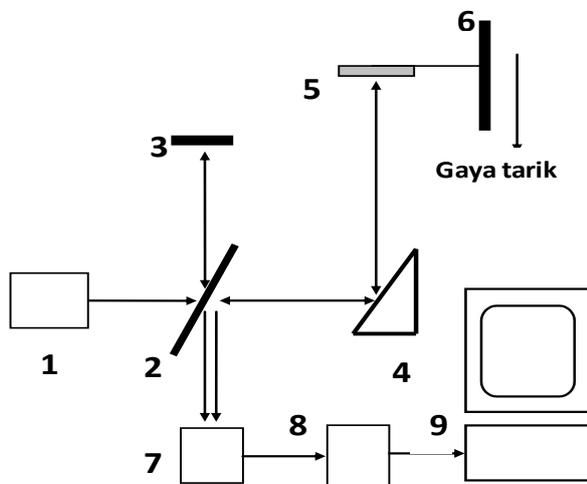
$$s = n \lambda / 2 \tag{1}$$

Pada penelitian ini akan digunakan laser *He-Ne* yang mempunyai panjang gelombang 632,8 nm. Dengan demikian melalui persamaan di atas, pergeseran cermin dapat ditentukan dengan menghitung cacah perubahan frinji.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan membuat sistem interferometer *Michelson* dan sistem akuisisi data, serta dilakukan secara eksperimen di laboratorium untuk mencacah pengulangan frinji. Sistem interferometer *Michelson* beserta akuisisi datanya, kemudian diaplikasikan pada mesin uji tarik untuk mengukur regangan benda uji.

Sumber cahaya yang digunakan dalam eksperimen adalah laser *He-Ne*, yang mempunyai panjang gelombang 632,8 nm. Spesimen benda uji yang akan diukur regangannya terbuat dari plat aluminium, silinder aluminium dan silinder baja karbon rendah.



Gambar 6. Susunan Peralatan Pengukur Pertambahan Panjang dengan Interferometer *Michelson*

1. Laser *He-Ne*; 2. *Beam Splitter*; 3. Cermin Tetap; 4. Cermin Pembelok Arah; 5. Cermin Gerak; 6. Benda uji; 7. Fotodetektor; 8. Interface; 9. PC Perekam Hasil Pencacahan Jumlah Frinji.

Cara kerja penelitian dapat dilakukan dengan melihat Gambar 6 sebagai berikut:

1. Berkas cahaya laser *He-Ne* diarahkan ke *beam splitter* (2)
2. Selanjutnya berkas cahaya laser akan direfleksikan menuju ke cermin tetap (3) dan ditransmisikan menuju cermin pembelok arah (4), yang dibelokkan tegak lurus menuju cermin gerak (5), yang ditempelkan pada benda uji (6).
3. Benda uji diberi beban tarik, sehingga cermin gerak akan ikut bergerak dan memantulkan cahaya laser kembali ke cermin pembelok arah.
4. Cermin pembelok arah membelokkan cahaya tegak lurus, menuju *beam splitter*.
5. Pantulan berkas cahaya laser dari kedua cermin tersebut akan berinterferensi menghasilkan pola interferensi berupa pola gelap terang (frinji).
6. Pola interferensi akan ditangkap oleh fotodetektor (7), pola ini tergantung pada beda lintasan optik kedua berkas cahaya.
7. Melalui *PC* (9) pola gelap terang (frinji) direkam dan diolah interface (8) berupa sinyal gelombang kemudian dikonversikan menjadi pergeseran (pertambahan panjang) benda uji.

Metoda pengumpulan data dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Pola gelap terang (frinji) diperoleh dengan menaik-turunkan *crosshead* mesin uji tarik atau memberikan beban tarik kepada benda uji.
2. Frinji ditangkap oleh foto detektor dan diolah oleh *interface* rangkaian pengolah sinyal menjadi sinyal gelombang sinus, serta rangkaian komparator mengolah ke bentuk gelombang kotak. *PC* akan merekam hasil pencacahan frinji.
3. *Interface* rangkaian mikrokontroler mengolah pola gelap terang (frinji) dan mengkonversikannya menjadi pergeseran atau pertambahan panjang benda uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari percobaan yang dilakukan dengan menggunakan sistem interferometer *Michelson* dan sistem akuisisi data, diperoleh data-data dalam Tabel 1–Tabel 5.

Tabel 1. Pergeseran *Crosshead* Saat Bergerak Naik Hasil Ekstensometer dan Sistem Interferometer *Michelson*

No	Pergeseran Hasil Ekstensometer (mm)	Pergeseran Hasil Sistem Interferometer (mm)	Cacah Frinji	Standard Deviasi
1	2,05	2,06	6504	0,01
2	3,05	3,08	9742	0,02
3	4,05	4,08	12898	0,02
4	6,10	6,16	19464	0,04
5	7,10	7,17	22654	0,05
6	9,00	9,09	28734	0,06
7	10,50	10,13	32024	0,26
8	15,50	15,21	48062	0,21
Rerata		Standard Deviasi		0,07

Tabel 2. Pergeseran *Crosshead* Saat Bergerak Turun Hasil Ekstensometer dan Sistem Interferometer *Michelson*

No	Pergeseran Hasil Ekstensometer (mm)	Pergeseran Hasil Sistem Interferometer (mm)	Cacah Frinji	Standard Deviasi
1	2,10	2,11	6666	0,01
2	3,05	3,05	9652	0,00
3	4,00	4,06	12838	0,04
4	5,05	5,04	15924	0,01
5	6,00	6,06	19142	0,04
6	7,20	7,25	22904	0,03
7	8,05	8,14	25712	0,06
Rerata				Standard Deviasi
				0,02

Tabel 3. Perbandingan antara Pengukuran Ekstensometer dan Sistem Interferometer *Michelson* pada Benda Uji Aluminium Lempeng

No	Pergeseran Hasil Sistem Interferometer (mm)	Pergeseran Hasil Ekstensometer (mm)	Cacah Frinji	Standard Deviasi
1	9,0000	9,0369	28598	0,026092
2	13,8500	13,8212	43738	0,020365
Rerata				Standard Deviasi
				0,023229

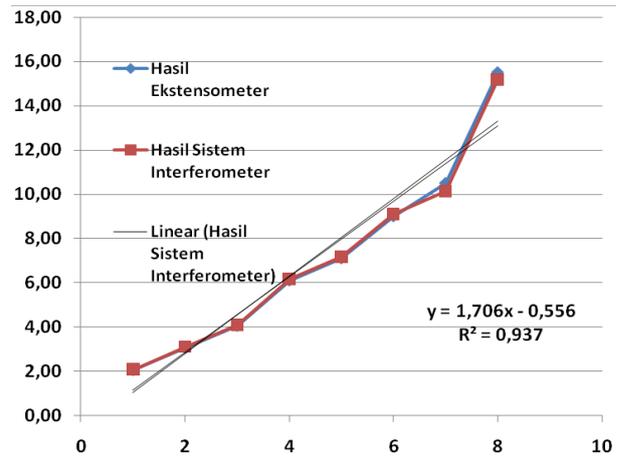
Tabel 4. Perbandingan antara Pengukuran Ekstensometer dan Sistem Interferometer *Michelson* pada Benda Uji Aluminium Batang

No	Pergeseran Hasil Sistem Interferometer (mm)	Pergeseran Hasil Ekstensometer (mm)	Cacah Frinji	Standard Deviasi
1	10,5000	10,5063	33248	0,004455
2	10,5500	10,6258	33626	0,053599
3	10,9000	10,6226	33616	0,196151
4	11,5000	11,3677	35974	0,09355
Rerata				Standard Deviasi
				0,08693

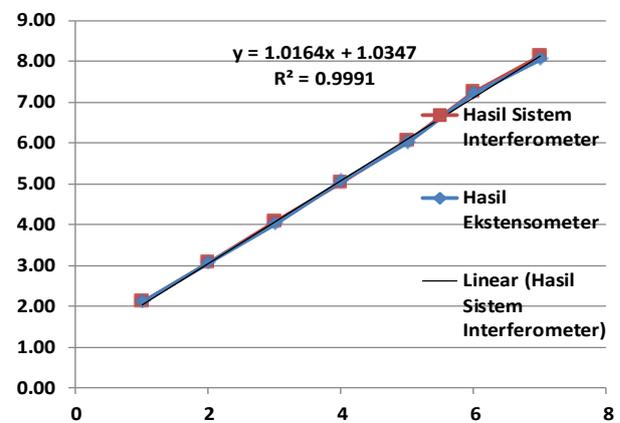
Tabel 5. Perbandingan antara Pengukuran Ekstensometer dan Sistem Interferometer *Michelson* pada Benda Uji Baja Karbon Rendah Batang

No	Pergeseran Hasil Sistem Interferometer (mm)	Pergeseran Hasil Ekstensometer (mm)	Cacah Frinji	Standard Deviasi
1	9,0369	9,0000	28598	0,026092
2	10,5064	10,5000	33248	0,004504
3	10,6258	10,5000	33626	0,088968
4	10,6227	10,9000	33616	0,196109
5	11,3678	11,5000	35974	0,093494
6	11,7919	11,5500	37316	0,171021
7	11,5511	11,6000	36554	0,034606
8	13,8212	13,8500	43738	0,020358
9	14,1505	14,0000	44780	0,106405
Rerata				Standard Deviasi
				0,08240

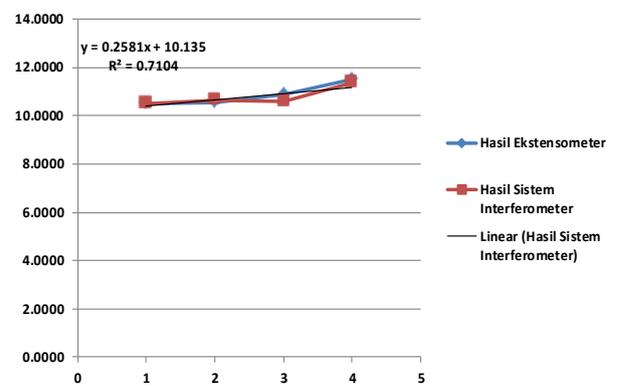
Data hasil akuisisi dalam bentuk tabel bila disajikan dalam grafik yang diperoleh seperti pada Gambar 7 – Gambar 10.



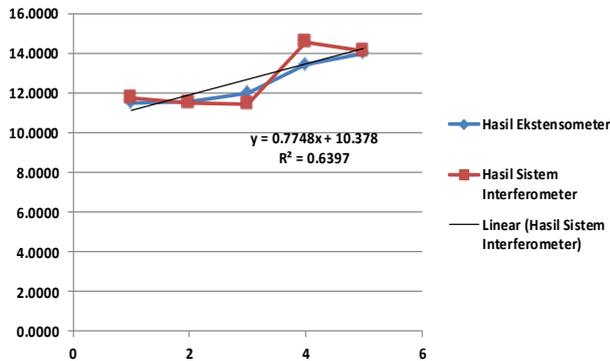
Gambar 7. Perbandingan antara Pengukuran Ekstensometer dan Sistem Interferometer Saat *CrossHead* Bergerak Naik



Gambar 8. Perbandingan antara Pengukuran Ekstensometer dan Sistem Interferometer Saat *CrossHead* Bergerak Turun



Gambar 9. Perbandingan antara Pengukuran Ekstensometer dan Sistem Interferometer untuk Benda Uji Aluminium Batang



Gambar 10. Perbandingan antara Pengukuran Ekstensometer dan Sistem Interferometer untuk Benda Uji Baja Karbon Rendah Batang

Dari Tabel 1, nampak bahwa semakin panjang pergerakan *crosshead* akan membawa akibat semakin tingginya standard deviasi. Hal ini berarti terjadi ketidaksesuaian makin besar antara hasil pengukuran ekstensometer dibanding sistem interferometer. Secara ekstrim bahkan terjadi perbedaan yang cukup mencolok antara data pergerakan *crosshead* di bawah 9 mm dan di atas 9 mm. Perbedaan terletak pada standar deviasi yang semula memiliki nilai rerata 0,03 (0,65%) menjadi 0,23 (1,79%). Hal ini konsisten terjadi pada data Tabel 2, dimana gerakan *crosshead* turun ke bawah sampai pada batas di bawah 9 mm. Rerata standar deviasi yang muncul pada saat *crosshead* turun tanpa beban adalah 0,02 (0,37%). Dari hasil ini, penulis merekomendasikan tingkat kepresisian yang tinggi (kurang dari 1%) diperoleh pada pengukuran gerakan (*displacement*) maksimal 9 mm.

Tabel 3 dan 4 menunjukkan hasil pengukuran *displacement* dengan menggunakan benda uji aluminium. Dalam pengukuran ini, nampak bahwa hasil sistem interferometer sangat mendekati hasil pengukuran dengan ekstensometer dengan rerata standar deviasi 0,023 (0,2%) dan 0,074 (0,08%). Kedua hasil pengukuran ini masih menunjukkan harga kurang dari 1% seperti pada pengukuran tanpa beban.

Tabel 5 adalah data pengukuran *displacement* dengan menggunakan benda uji baja karbon rendah berbentuk batang. Nampak bahwa rerata deviasinya sebesar 0,08 (0,72%). Dari besarnya simpangan yang kurang dari 1% ini, sistem dapat diandaikan bekerja dengan baik untuk melakukan pengukuran.

Pada saat benda uji terpasang, akurasi pengukuran menjadi berkurang dibanding pengukuran pada *crosshead* tanpa beban. Hal ini disebabkan karena pada saat beban bertambah, getaran mesin menjadi semakin besar. Getaran ini merambat, sehingga cermin gerak ikut bergetar. Getaran dari cermin gerak mempengaruhi jumlah frinji yang dicacah, sehingga menyebabkan pengukuran yang berbeda. Karena getaran inilah, frinji yang dicacah menjadi semakin besar. Dengan demikian, perubahan

panjang yang diukur sistem interferometer *Michelson* menjadi lebih besar dari pengukuran ekstensometer tersebut.

KESIMPULAN

Setelah melakukan aplikasi sistem interferometer *Michelson* pada mesin uji tarik serta melakukan pengamatan dengan menggunakan benda uji aluminium dan baja karbon rendah, peneliti dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut: Akuisisi data cacah frinji dapat dilakukan dengan menangkap intensitas frinji oleh fotodetektor dan mengkonversikan menjadi sinyal gelombang sinus dan sinyal gelombang kotak oleh *interface* rangkaian elektronika pengolah sinyal dan rangkaian elektronika komparator, serta mengkonversikannya menjadi jumlah frinji dan pergeseran atau pertambahan panjang benda uji oleh *interface* rangkaian mikrokontroler. Gerakan cermin gerak yang ditempelkan pada benda uji mempengaruhi hasil pola gelap terang. Untuk menjamin hasil pola gelap terang yang baik, penempatan cermin gerak harus pada bagian yang benar-benar kaku (*rigid*) dan kuat sehingga pengaruh getaran dapat dikurangi, dan pola gelap terang yang dihasilkan akan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lawall, J., Kessler, E. Michelson interferometry with 10 pm accuracy. *Rev. Sci. Instrum.* Vol, 71 No. 7, 2000.
- [2] Kandpal, H.C., Mehta, D.S., Vaishya, J.S. Simple methods for measurement of surface roughness using spectral interferometry. *Optics and Laser in Engineering.* Vol 34, 2000.
- [3] Laszlo, T., Laszlo. A simple and accurate contactless frequency and amplitude meter. *Rev. Sci. Instrum.* Vol. 68, No. 2, 1997.
- [4] Doebelin, E.O. *Measurement Systems Application and Design.* New York. McGraw-Hill. 1990.
- [5] Martanto. *Sistim Akuisisi Data Tegangan Jala-jala Menggunakan Komputer Pribadi*, Seminar Nasional Pemanfaatan Teknologi Informasi pada Dunia Pendidikan Tinggi, 27 Mei-04, ISBN: 979-97781-1-5, 2004.
- [6] Kusairi, S., Istiyanto, J.E., Setio Utomo, A.B. Otomatisasi sistim interferometer Michelson berbasis PC. *Jurnal Fisika*, Vol. 3, No. 1, 2000.
- [7] Imron, Istiyanto, J.E., Setio Utomo, A.B. Rancang bangun piranti terkomputersasi untuk mengukur intensitas cahaya. *Jurnal Fisika Indonesia*, 2002.
- [8] Ronny, D.A., Martanto, Sri A.S., *Akuisisi Data Interferometer Michelson untuk Digunakan Pengukuran Regangan Pada Alat Ukur Uji Tarik*, Seminar Nasional Pemanfaatan Informasi Menuju Masyarakat Bermatabat, 28 Oktober -10, ISBN: 978-979-1086-61-9, 2010.

- [9] Budi Setyahandana, Martanto, Ronny Dwi Agusulistyo, *Akuisisi Data Getaran dengan Menggunakan Interferometer Michelson untuk Koreksi Pengukuran Regangan pada Alat Ukur Uji Tarik*, Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi ke 6, Yogyakarta, ISSN: 1907-5995, 2011.