

Pengukuran Ketebalan Lapisan Tipis (Film) Menggunakan Interferometer Michelson

Mohammad Istajarul Alim, Dian Rosyida Fadlilah, Nura Hajar Hafida, Diky Anggoro
Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Raya ITS, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: anggorodiky@gmail.com

Abstrak—Interferometer Michelson merupakan piranti optik yang menggunakan konsep interferensi. Adapun tujuan dari percobaan pengukuran ketebalan lapisan tipis (film) dengan menggunakan interferometer Michelson yaitu untuk menentukan ketebalan dari suatu lapisan tipis dan mengetahui hubungannya terhadap pola frinji yang terbentuk. Prinsip dari percobaan kali ini yaitu berdasarkan interferensi dan beda lintasan optik. Dimana interferensi berperan sebagai penghasil pola gelap terang, sedangkan untuk beda lintasan optik berperan sebagai karakteristik bentuk pola gelap terang. Ketika salah satu cermin interferometer Michelson diberi lapisan tipis, maka cahaya yang melewati daerah tersebut akan memiliki lintasan optik yang lebih panjang karena adanya perbedaan indeks bias. Dengan begitu, maka pola interferensi ketika diberi lapisan tipis dan tidak diberi akan berbeda. Untuk hasil yang didapatkan pada sampel 1, ketebalan lapisan tipis sebesar 149,87 nm dan untuk sampel 2 sebesar 75,61 nm. Kemudian karakteristik pola frinji yang didapatkan ketika diberi lapisan tipis akan lebih renggang daripada tanpa diberi lapisan tipis.

Kata Kunci - Interferometer Michelson, interferensi, laser, lintasan optik.

I. PENDAHULUAN

Pengukuran merupakan suatu kegiatan yang perlu dilakukan secara teliti. Hal tersebut dikarenakan dalam pengukuran, hasil yang didapatkan berupa data tetap dan tidak dipengaruhi oleh ambiguitas pengukur. Pengukuran tentunya dapat dilakukan dengan mudah untuk dalam satuan satuan yang standar seperti dalam sentimeter ataupun meter. Kemudian timbul pertanyaan untuk cara pengukuran ketika objek yang diukur dalam satuan yang sangat kecil yaitu mikrometer ataupun nanometer. Hal tersebut tentunya dapat dilakukan dengan menggunakan piranti interferometer Michelson. Pengukuran dengan piranti tersebut berlandaskan atas prinsip interferensi dan beda lintasan optik.

Cahaya merupakan paket energi yang memiliki spektrum warna. Secara jenis penggolongan warna, cahaya dapat dibedakan menjadi cahaya monokromatik dan cahaya polikromatik. Dikatakan monokromatik karena cahaya tersebut hanya terdiri atas warna tunggal dalam spektrum panjang gelombang tertentu. Sedangkan untuk cahaya polikromatik merupakan cahaya yang terdiri atas banyak warna dalam spektrum panjang gelombang banyak. Artinya suatu cahaya yang memiliki atas banyak warna merupakan cahaya polikromatik. Contoh paling sederhana untuk cahaya polikromatik adalah cahaya warna putih dan cahaya matahari. Kedua cahaya tersebut apabila didispersikan maka akan menghasilkan cahaya-cahaya baru dengan banyak warna. Kemudian untuk cahaya monokromatik dapat dicontohkan seperti cahaya pada laser dan cahaya lampu LED non putih. Ketika cahaya tersebut direfraksikan maka tidak akan

menghasilkan cahaya baru dengan warna yang berbeda, namun tetap akan menghasilkan warna yang sama dengan warna asli [1].

Cahaya monokromatik pada dasarnya hanya memiliki rentang panjang gelombang yang pendek. Artinya panjang gelombang yang dimiliki oleh cahaya monokromatik tidak serta merta hanya terdiri dari panjang gelombang tunggal yang spesifik, seperti hanya memiliki panjang gelombang 700 nm. Namun cahaya monokromatik tetap memiliki delta panjang gelombang misalkan 697-705 nm. Hanya saja, panjang gelombang tersebut ada pada rentang yang sangat kecil sehingga dapat dimasukkan dalam kategori cahaya monokromatik. Cahaya monokromatik sejatinya sangat aplikatif dalam bidang optik. Penerapan yang demikian di era sekarang dapat dicontohkan pada cahaya laser. Cahaya laser hanya mentransmisikan cahaya dalam range panjang gelombang tertentu. Dengan begitu apabila cahaya laser didifraksikan maka tidak akan menghasilkan cahaya dengan warna baru [1].

Laser merupakan suatu mekanisme alat dalam memancarkan energi radiasi elektromagnetik. Pancaran radiasi elektromagnetik dari laser biasanya berupa cahaya kasat mata ataupun tidak kasat mata. Sifat optis dari cahaya laser merupakan koheren. Laser memancarkan radiasi elektromagnetik berupa berkas cahaya tunggal. Artinya dalam perjalanan radiasi pada laser, arah gerakannya dijaga sedemikian rupa agar tetap sejajar dan fokus. Ada suatu hal yang membedakan radiasi dari laser dengan radiasi elektromagnetik lain seperti *microwave*. Hal yang membedakan yaitu radiasi laser berupa gelombang monokromatik, sedangkan untuk radiasi dari *microwave* berupa gelombang polikromatik. Kedua radiasi tersebut tentunya dapat dideskripsikan berdasarkan persamaan gelombang Maxwell [2].

Dalam konsep cara kerja laser, dapat dikatakan bahwa laser merupakan berkas cahaya yang memancarkan panjang gelombang yang diidentifikasi sebagai frekuensi sama dan beda fase yang konstan. Sifat tersebut merupakan sifat dari koheren. Dalam membuat cahaya yang koheren perlu dilakukan pengontrolan terhadap kemurnian berkas, ukuran hingga bentuknya. Ketika laser memancarkan radiasinya, maka laser akan melakukan relaksasi elektro. Proses tersebut merupakan proses dimana foton akan dilepaskan. Yang membedakan pancaran foton pada laser dengan cahaya lampu pada umumnya yaitu arah berkasnya. Dimana pada laser arah berkasnya dijaga agar sejajar. Namun pada cahaya lampu pada umumnya arah berkasnya adalah memancar kesegala arah dan tidak sejajar. Berkas laser sebelum dipancarkan keluar akan mengalami yang namanya resonansi. Dimana resonansi terdapat pada resonator yang berupa lensa atau cermin [2].

Interferensi merupakan suatu interaksi antar dua buah gelombang ataupun lebih, Dimana interferensi ada yang bersifat membangun dan ada yang bersifat merusak. Interferensi yang bersifat membangun merupakan interferensi antar dua gelombang atau lebih dengan beda fasenya nol. Sehingga, amplitudo antar gelombang-gelombang tersebut akan mengalami penjumlahan hingga dihasilkan amplitudo akhir yang nilainya lebih besar dari amplitudo awal. Selanjutnya untuk interferensi yang bersifat merusak terjadi ketika beda fase antar dua gelombang atau lebih sebesar 180° . Interferensi tersebut akan menyebabkan amplitudo-amplitudo yang dimiliki oleh masing-masing gelombang akan saling memusnahkan. Sehingga hasil akhir yang didapatkan berupa amplitudo yang lebih kecil daripada amplitudo terkecilnya [3].

Interferometer Michelson merupakan suatu piranti yang dapat menghasilkan interferensi pada gelombang cahaya yang dicetuskan oleh Albert Abraham Michelson. Prinsip dari interferometer Michelson yaitu dengan membagi dua buah gelombang cahaya datang dengan menggunakan *beam splitter* kemudian dipertemukan kembali kedua gelombang cahaya tersebut. Apabila jarak antar *beam splitter* dengan pemantul adalah sama, maka akan menghasilkan beda lintasan yang sama dengan nol. Hal lain tentunya berbeda ketika salah satu cermin jaraknya berbeda. Kita ambil contoh untuk salah satu cermin dimundurkan, maka akan menghasilkan pola frinji yang lebih rapat daripada jarak antar cermin adalah sama [4].

Panjang lintasan optik merupakan hasil perkalian antara indeks bias dengan panjang geometri. Pada interferometer Michelson, panjang lintasan optik dapat diidentifikasi sebagai panjang cahaya bergerak hingga dapat diproyeksikan. Pada percobaan interferometer Michelson, panjang lintasan optik akan berbeda ketika diberi lapisan tipis Hal tersebut dikarenakan terdapat indeks bias yang berbeda pada lapisan tipis hingga menyebabkan panjang lintasan optiknya lebih panjang [1].

II. METODE PENELITIAN

Pada percobaan pengukuran ketebalan lapisan tipis (film) menggunakan interferometer Michelson dilakukan untuk mengukur ketebalan lapisan tipis yang dimaksud. Adapun metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut.

2.1 Peralatan dan Bahan

Dalam percobaan ini, peralatan dan bahan yang digunakan yaitu 1 set piranti interferometer Michelson. Digunakan laser dengan panjang gelombang merah sebagai sumber cahaya monokromatik. *Beam expander* digunakan untuk memecah cahaya laser agar tersebar. Kemudian digunakan lapisan tipis *polymethyl Methacrylate* sebagai objek yang diukur. Dan yang terakhir digunakan aplikasi Matlab untuk menentukan jarak antar frinji dan beda jarak frinjinya.

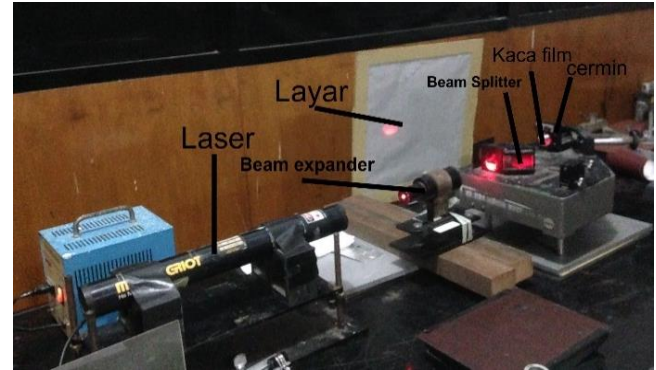
2.2 Skema kerja

Langkah kerja dilakukannya percobaan pengukuran ketebalan lapisan tipis (film) menggunakan interferometer Michelson yaitu peralatan dan bahan disiapkan terlebih dahulu seperti pada gambar 1. Kemudian laser dinyalakan dan berkas cahaya di transmisikan menuju *beam expander* lalu menuju *beam splitter*. Kemudian lapisan tipis di aplikasikan pada salah satu cermin interferometer Michelson pada setengah bagiannya. Berkas laser yang telah mengalami pemantulan kemudian diamati pada layar. Setelah itu

dilakukan proses pengambilan gambar. Gambar yang telah diambil kemudian dimasukan kedalam program Matlab untuk ditentukannya jarak antar frinji dan besarnya pergeseran pola interferensi. Lankah tersebut kemudian dilakukan untuk lapisan tipis yang lain.

2.3 Skema Alat

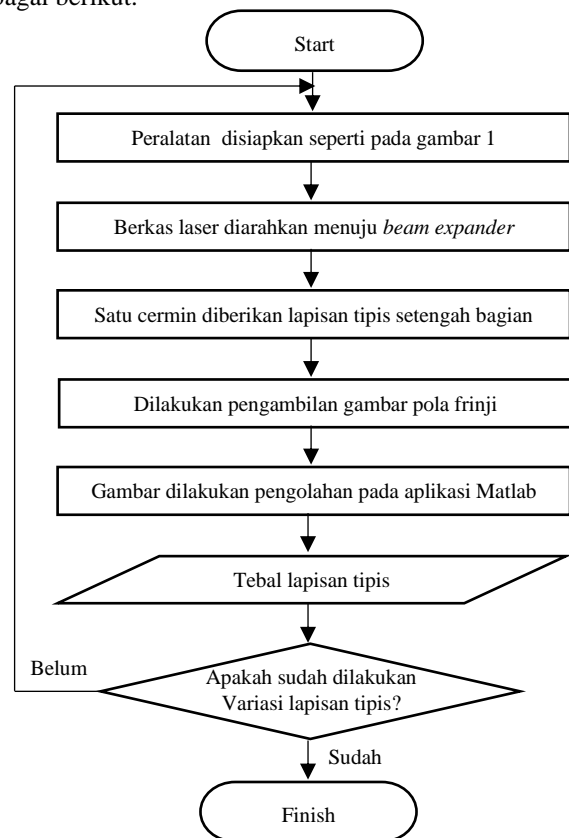
Adapun skema alat yang digunakan dalam percobaan adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Skema alat dalam percobaan

2.4 Diagram alir

Diagram alir yang digunakan dalam percobaan ini adalah sebagai berikut.



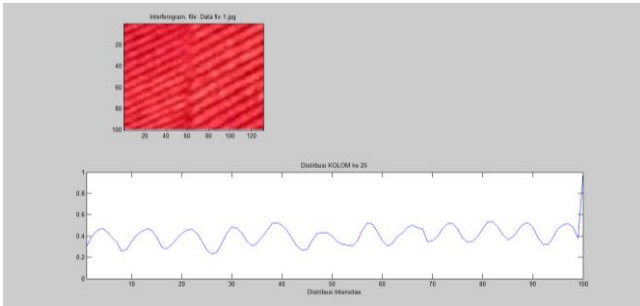
Gambar 2. Diagram alir percobaan

III. HASIL DAN DISKUSI

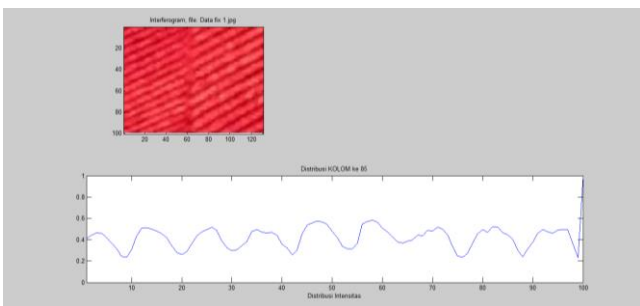
Data yang telah didapatkan pada percobaan pengukuran ketebalan lapisan tipis (film) menggunakan interferometer Michelson dapat ditulis dalam bentuk tabel. Data tersebut kemudian dapat digunakan untuk menentukan tebal lapisan tipis dalam satuan nanometer. Hasil akhir nantinya dapat digunakan untuk pembahasan mengenai ketebalan lapisan tipis itu sendiri.

3.1 Analisa Data

Berdasarkan hasil percobaan, didapatkan nilai jarak antar pola interferensi rata-rata dan jarak pergeseran interferensi rata-rata setelah mengalami proses sampling pada program aplikasi Matlab. Adapun dalam menentukan jarak antar pola interferensi tiap titik beserta jarak pergeseran interferensinya pada program Matlab dapat ditampilkan seperti pada gambar 3 untuk tanpa lapisan tipis dan 4 untuk dengan lapisan tipis pada substrat 1 (substrat 2 terlampir). Sedangkan data secara rata-rata dapat ditampilkan pada tabel 1.



Gambar 3. Hasil program Matlab tanpa lapisan tipis untuk substrat 1



Gambar 4. Hasil program Matlab dengan lapisan tipis untuk substrat 1

Tabel 1. Data percobaan interferometer Michelson

Substrat	x (mm)	Δ x (mm)	λ (nm)
1	9,5	4,5	632,8
2	18,83	4,5	632,8

3.2 Perhitungan

Dari data percobaan yang telah didapatkan, dapat digunakan untuk menentukan nilai ketebalan lapisan tipis. Adapun contoh perhitungannya dapat ditampilkan sebagai berikut ini.

Diketahui : x = 18,83 mm
 Δx = 4,5 mm
 λ = 632,8 nm

Ditanya : Tebal lapisan tipis?

Solusi :

$$d = \frac{\Delta x}{x} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$d = \frac{4,5}{18,83} \cdot \frac{632,8}{2}$$

$$d = 75,61 \text{ nm}$$

Berdasarkan data tersebut, maka nilai ketebalan untuk substrat 2 dapat dihitung berdasarkan persamaan yang ada. Kemudian untuk data nilai ketebalan selengkapnya pada substrat 1 dan substrat 2 dapat ditampilkan seperti pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil ketebalan lapisan tipis

Substrat	x (mm)	Δ x (mm)	λ (nm)	d (nm)
1	9,5	4,5	632,8	149,87
2	18,83	4,5	632,8	75,61

3.3 Pembahasan

Sumber cahaya yang digunakan pada percobaan pengukuran tebal lapisan tipis (film) menggunakan interferometer Michelson merupakan cahaya laser yang sifatnya koheren. Laser yang dapat memancarkan cahaya dalam bentuk sejajar tentunya memiliki mekanisme tersendiri daripada sumber cahaya lain. Pada laser, dikenal yang dinamakan resonator. Fungsi dari resonator itu sendiri merupakan sebagai piranti agar laser dapat dikuatkan. Proseduralnya, ketika tombol laser ditekan, maka elektron didalam laser dipicu untuk bergerak. Elektron tersebut merupakan paket energi yang kemudian menjadi energi cahaya. Setelah elektron dipicu untuk bergerak, maka elektron akan menuju yang dinamakan dengan daerah resonator. Didalam resonator terdiri dari dua buah cermin. Cermin paling belakang merupakan cermin yang mempunyai reflektivitas 100%, sedangkan untuk cermin paling depan mempunyai reflektivitas kurang dari 100%. Akibatnya, energi elektron cahaya tersebut akan ditampung sementara waktu pada daerah resonator tersebut untuk diperkuat. Apabila sudah mencapai ambang maksimal, maka sumber cahaya akan keluar dari cermin yang reflektivitasnya kurang dari 100%. Cahaya tersebut kemudian merupakan cahaya yang dinamakan laser.

Penggunaan laser dalam percobaan interferometer Michelson ada dikandung maksud tertentu. Sifat cahaya laser sendiri merupakan koheren. Sifat itulah yang mutlak harus dimiliki ketika melakukan percobaan interferometer Michelson. Tanpa menggunakan laser, maka berkas cahaya yang mengalami interferensi tidak dapat terlihat secara jelas. Sebagai contoh apabila digunakan cahaya monokromatik yang tidak koheren. Hal tersebut akan menyebabkan pola interferensi terang gelap tidak akan terjadi, melainkan hanya semu gelap atau semu terang. Apalagi ketika digunakan sumber cahaya polikromatik. Sumber cahaya tersebut apabila digunakan dalam percobaan ini akan menghasilkan pola warna-warni. Dengan begitu, apabila kita menggunakan sumber cahaya monokromatik yang tidak koheren atau sumber cahaya polikromatik akan sulit untuk mendapatkan jarak antar orde yang terjadi.

Cahaya laser merupakan sumber cahaya yang sejajar dan terarah. Apabila kita hanya menggunakan sumber cahaya laser tersebut, maka hasil proyeksi pada proyektor yang berupa sebuah titik. Pola interferensinya pun akan sulit teramati karena dalam bentuk titik. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka digunakanlah *beam expander*. *beam expander* tersebut berfungsi sebagai pemecah sinar. Sehingga dengan adanya *beam expander* cahaya proyeksinya pun dalam bentuk yang lebih besar. Jenis-jenis *beam expander* secara umum terdiri dari dua jenis, yaitu tipe galilean *beam expander* dan tipe keplerian *beam expander*. Kedua jenis *beam expander* tersebut memiliki karakteristik masing-masing. Pada jenis keplerian, lensa pertama yang digunakan merupakan cembung-datar. Lensa tersebut akan menghasilkan sumber cahaya yang difokuskan pada daerah setelah lensa atau seolah-olah disebar sebelum lensa. Kemudian untuk tipe *beam expander* untuk galilean, lensa pertama yang digunakan merupakan cekung-datar. Lensa tersebut akan menghasilkan sumber cahaya yang disebar pada daerah setelah lensa atau seolah-olah difokuskan sebelum lensa. Pada percobaan interferometer Michelson ini sendiri, jenis *beam expander* yang digunakan merupakan berjenis *beam expander* tipe keplerian. Hal tersebut dikarenakan jarak fokus terhadap lensa cembung yang dekat, sehingga cahaya lebih menyebar.

Dalam pengolahan datanya sendiri, digunakan program Matlab sebagai pendukungnya. Program tersebut digunakan untuk mempermudah dalam melakukan pengambilan sampling jarak antar orde dan jarak perubahan ordenya. Apabila kita melakukannya secara manual, maka kita akan kesulitan dalam menentukan titik mana dimulainya orde gelap atau orde terang. Selain itu, gambar hasil proyeksinya pun lumayan kecil. Sehingga untuk mempermudah proses pendataannya digunakan program Matlab. Sampling yang digunakan pun dengan mengambil 4 buah titik orde terang. Orde terang dapat diindikasikan sebagai puncak dari diagram sinusoidal. Sampling yang dilakukan juga tentunya dilakukan pada daerah substrat dan tanpa substrat. Hasil tersebut kemudian dilakukan rata-rata untuk menentukan nilai jarak antar orde dan jarak perpindahan orde.

Setelah proses pengambilan sampling pada program Matlab, maka jarak antar orde dan jarak perpindahan orde pun dilakukan pengolahan berdasarkan persamaan yang ada. Hasil tersebut nantinya berupa nilai ketebalan lapisan tipis yang sedang diteliti. Untuk lapisan tipis pertama didapatkan nilai ketebalan yang lebih besar daripada lapisan tipis kedua. Selain hasil tersebut, pola frinji yang terjadi pun juga mengalami perbedaan. Terlihat bahwa dengan adanya substrat lapisan tipis, maka jarak antar ordenya pun terlihat akan semakin merenggang. Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan lintasan optik. Perbedaan lintasan optik tersebut diperoleh berdasarkan perbedaan indeks bias. Pada substrat akan memiliki indeks bias yang lebih tinggi daripada tanpa substrat, sehingga panjang lintasan optiknya pun semakin panjang karena proses dispersi cahaya berdasarkan hukum *snellius*.

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh pada percobaan pengukuran ketebalan lapisan tipis (film) menggunakan interferometer Michelson yaitu didapatkan bahwa ketebalan lapisan tipis untuk substrat 1 adalah sebesar 149,87 nm dan lapisan tipis untuk substrat 2 adalah sebesar 75,61 nm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chang, W S C. *Principles of Lasers and Optics*. Cambridge : University of Cambridge Press (2005)
- [2] Thompson, B J. *Physics of Optoelectronics*. New York : University of Rochester (2005)
- [3] Lipson, A. *Optical Physics*. Manchester : University of Manchester Institute of Science and Technology (2009)
- [4] Pedrotti, F. *Introduction to Optics*. New York : McGraw Hill Publisher (2005)

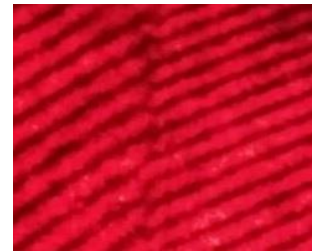
UCAPAN TERIMAKASIH

Saya selaku penulis laporan ini dan praktikan dari percobaan pengukuran ketebalan lapisan tipis (film) menggunakan interferometer Michelson mengucapkan terimakasih kepada segenap asisten laboratorium Fisika optik. Terimakasih saya sampaikan kepada saudara Dian Rosyida Fadlilah dan Nura Hajar Hafida sebagai asisten laboratorium dari percobaan pengukuran ketebalan lapisan tipis (film) menggunakan interferometer Michelson. Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada rekan-rekan dan semua pihak yang terkait dalam percobaan pengukuran ketebalan lapisan tipis (film) menggunakan interferometer Michelson saat melakukan percobaan serta dalam melakukan penyusunan laporan praktikum ini.

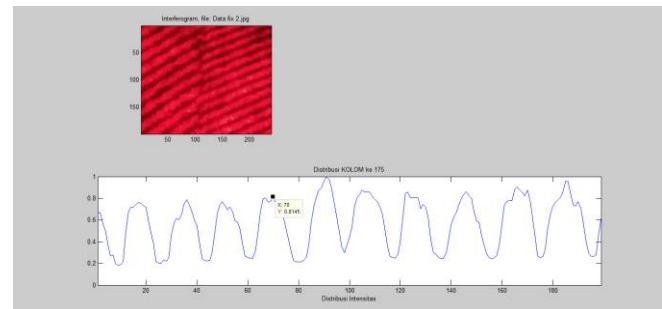
LAMPIRAN



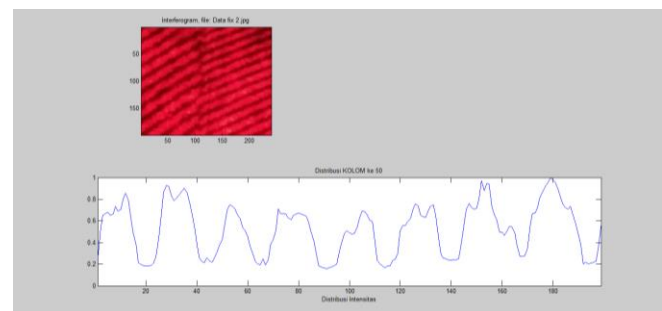
Gambar 5. Interferensi substrat 1



Gambar 6. Interferensi substrat 2



Gambar 7. Hasil program Matlab tanpa lapisan tipis untuk substrat 2



Gambar 8. Hasil program Matlab dengan lapisan tipis untuk substrat 2