

**Desain Sistem Sensor Koefisien Muai Termal Material Tambal Gigi Berbasis
Interferometer Michelson *Real Time***

**Halimatus Sya'dyyah, Yhosep Gita Yhun Yhuwana, S.Si, Dr. Retna Apsari,
M.Si**

**Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga**

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain sistem sensor koefisien muai termal berbasis interferometer Michelson *real time* dan lilitan nikelin yang menghasilkan daya sebesar 6 Watt sebagai pemanas yang sesuai dengan temperatur rongga mulut, yaitu 30° sampai dengan 60°C. Sumber cahaya yang digunakan adalah Laser He- Ne dengan panjang gelombang 632,8 nm. Sampel berbentuk silinder berongga dengan diameter luar 1,1 cm, diameter dalam 1 cm, dan tinggi 1,5 cm diletakkan pada *box* sampel di belakang salah satu cermin Interferometer Michelson. Pola interferensi (frinji) yang terbentuk direkam menggunakan webcam dan dicacah dengan prinsip deteksi gerak pada program Delphi. Sensor suhu yang digunakan LM 35 dengan penguat LM 358, keluaran yang dihasilkan berupa tegangan dikonversi ke bentuk nilai suhu dengan Arduino. Data ditampilkan pada PC dengan *interface* Delphi. Program Delphi yang dibangun memiliki 4 fungsi, yaitu merekam dan mencacah frinji, menampilkan suhu, dan menghitung koefisien muai termal *resin acrylic* dan *composite nanofiller*. Data yang dihasilkan pada penelitian meliputi waktu pemanasan selama 25,421 sekon untuk menghasilkan suhu 60°C, *delay* sebesar $(0,802 \pm 0,006)$ sekon dengan kinerja sensor 99,76%, dan kinerja *software* 98,18%. Dalam 3 kali pengambilan data didapat rerata koefisien muai termal *resin acrylic* adalah $(111,37 \pm 10,93) \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ dan mempunyai persentase kesalahan 23,74% terhadap literatur, sedangkan sampel *composite nanofiller* diperoleh hasil $(49,6 \pm 0,95) \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ dengan persentase kesalahan sebesar 6,9% terhadap penelitian sebelumnya.

Kata kunci: Interferometer Michelson, *real time*, koefisien muai termal, *resin acrylic, composite nanofiller*

1. Pendahuluan

Gigi berlubang hingga saat ini masih menjadi salah satu penyakit yang sering dialami oleh anak-anak maupun orang dewasa. Fakta dari WHO *Oral Health Media Center* per April 2012 menunjukkan sebanyak 60-90% anak usia sekolah dan hampir semua orang dewasa di seluruh dunia memiliki masalah gigi. Jika terus dibiarkan, penyakit gigi dan mulut dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan serius yang akhirnya merambah ke organ tubuh lainnya. Salah satu upaya untuk mengatasi gigi berlubang yang efektif mengurangi rasa sakit adalah dengan menambal gigi.

Seiring meningkatnya kebutuhan bahan tambal gigi, teknik fabrikasi bahan tambal gigi baru terus dikembangkan. Pemilihan bahan tambal gigi didasarkan pada beberapa sifat yang harus dipertimbangkan, antara lain biokompatibilitas, sifat fisik kimia, karakteristik penanganan, estetika, dan ekonomis (Phillips, 2003).

Bahan tambal gigi haruslah memiliki ketahanan tertentu terhadap berbagai perlakuan, salah satunya perubahan termal. Ketahanan termal berkaitan dengan tingkat sensitivitas gigi. Gigi dan bahan tambal gigi memuai dan terjadi kontraksi pada tingkat yang berbeda jika makan atau minum makanan panas dan dingin. Semakin besar ketidakcocokan koefisien muai termalnya, semakin besar kemungkinan perkolasi fluida di bawah margin, yang dapat menyebabkan karies (Spiller *et al.*, 2011). Restorasi gigi mengalami ekspansi atau kontraksi yang lebih besar daripada gigi asli selama ada perubahan temperatur; jadi, restorasi mungkin bocor atau terlepas ikatannya dari gigi (Phillips, 2003), oleh karena itu, penting untuk mengetahui nilai koefisien muai termal pada bahan tambal gigi.

Metode deteksi koefisien muai termal yang selama ini digunakan adalah *Differential Thermal Analysis (DTA)* dan *Differential Scanning Calorimetry (DSC)* akan tetapi metode yang ada tersebut agak rumit dan mahal (Setyabudi, 2010). Mahalnya pengukuran koefisien muai termal bahan tambal gigi mendorong perlunya inovasi untuk mencari metode alternatif. Salah satu metode alternatif

yang menjanjikan adalah menggunakan metode optik. Keunggulan metode optik yaitu ketelitian tinggi, bersifat *non invasif*, menggunakan sumber *non destructive* sehingga minim efek samping, dan dapat diamati secara visual (Apsari, 2007). Scholl *et al.* (2009) dalam penelitiannya menyatakan bahwa interferometer Michelson telah berhasil digunakan dalam pengukuran koefisien muai termal. Metode interferometri juga dapat digunakan untuk mengukur koefisien muai termal bahan tipis kristal ZnSe (Hua Shu *et al.*, 2009).

Telah dikembangkan penelitian yang memanfaatkan konsep interferensi dan koherensi pada Laboratorium Fisika Optika dan Laser Departemen Fisika oleh Ariyanti (2008) yaitu menggunakan interferometer Michelson *real time* untuk mendeteksi deformasi gigi akibat perubahan suhu. Kelemahan penelitian ini adalah terdapat *delay* (waktu tunda) sebesar $(1,8 \pm 0,7)$ sekon antara suhu tertampil di termometer digital (kalibrator) dengan suhu yang dihasilkan sistem rangkaian suhu, arduino, dan Delphi. Kelemahan berikutnya adalah pengamatan rumbai frinji dilakukan secara visual.

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Atmawati (2012) dengan mengoptimasi mikrokontroler AT Mega 8535 dan sensor suhu LM 35 serta penghitungan cacahan frinji menggunakan prinsip deteksi gerak pada Delphi secara *real time*. Hasil yang didapat pada penelitian Atmawati (2012) adalah *delay* penelitian sebesar $(1,1 \pm 0,1)$ detik. Kelemahan pada penelitian ini adalah proses pemanasan sampel dengan menggunakan solder berdaya tinggi, sehingga bahan mengalami kenaikan suhu dengan cepat. Kelemahan berikutnya syarat utama terkait tipisnya sampel membuat preparasi sampel lebih rumit dilakukan.

Modulasi fase Interferometer Mach Zender pada penelitian Atmawati (2012) terletak pada sampel yang ditempatkan di salah satu lengan interferometer. Metode tersebut menyebabkan sampel yang dipilih terbatas pada sampel tipis dan transparan yang memungkinkan adanya transmisi sumber cahaya yang digunakan, oleh karena itu metode yang

digunakan pada penelitian ini adalah sampel berbentuk tabung dengan diameter dalam 1 cm, diameter 1,1 cm, dan tinggi 1,5 cm diletakkan di dalam lilitan nikelin di belakang salah satu cermin, yang di antara keduanya terdapat pipa besi sebagai penghubung. Perubahan panjang akibat adanya pemanasan akan terdeteksi dengan bergesernya cermin. Hal ini akan teramati dari pola frinji pada layar.

Material tambal gigi yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian yang akan dilakukan adalah *resin acrylic* dan *composite nanofiller*. Penelitian Marquis *et al.* (2010) menyatakan bahwa material *composite nanofiller* digunakan karena merupakan bahan tambal gigi yang paling baru dengan struktur *filler* bahan berukuran nanometer, sehingga diharapkan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap temperatur.

Sampel yang digunakan pada penelitian diberi perlakuan perubahan suhu. Variasi suhu yang diijinkan untuk mendeteksi deformasi pada gigi adalah mulai dari 30° sampai dengan 60° C, karena sesuai dengan temperatur pada lingkungan mulut (Kishen *et al.*, 2001). Penelitian sebelumnya menggunakan solder sebagai elemen pemanas, besarnya daya pada solder membuat sampel memuai terlalu cepat. Untuk itu perlu di desain suatu alat pemanas dengan daya rendah yang sesuai dengan karakteristik pemanasan pada rongga mulut.

Pada penelitian yang dilakukan, digunakan sumber cahaya laser He- Ne dengan panjang gelombang 632,8 nm. Pola interferensi yang terbentuk (frinji) di rekam secara kontinyu (Hua Shu *et al.*, 2009). Hasil perekaman pola frinji dianalisis dengan menggunakan prinsip deteksi gerak. Pemilihan prinsip deteksi gerak telah berhasil digunakan untuk penghitungan frinji yang dihasilkan interferometer Michelson (Atmawati, 2012).\

Rangkaian Arduino, rangkaian sensor suhu, catu daya, lilitan nikelin sebagai pemanas, *box* mekanik, laptop, dan webcam digunakan untuk mencapai kondisi *real time* pada penelitian yang dilakukan. Sensor suhu LM 35 digunakan untuk menangkap perubahan temperatur. Arduino Uno digunakan untuk mengubah keluaran dari sensor suhu yang berbentuk analog ke digital, kemudian dikirim ke laptop dengan komunikasi serial sehingga dapat ditampilkan menggunakan program delphi. Jika suhu sampel mencapai 30°C secara otomatis

delphi akan merekam dan mencacah frinji yang tampak dan setelah suhu sampel menunjukkan angka 60°C delphi berhenti merekam. Hasil penghitungan jumlah pola frinji digunakan untuk analisis koefisien muai termal pada material tambal gigi *resin acrylic* dan *composite nanofiller* dengan *software* Delphi. Selanjutnya, untuk mengetahui kinerja alat digunakan perbandingan dengan hasil penelitian dari Atmawati (2012) dan literatur.

Berhasilnya penelitian ini diharapkan dapat menjadi langkah awal aplikasi interferometer Michelson berbasis laser dan mikrokontroler secara *real time* untuk karakterisasi material tambal gigi di bidang kedokteran gigi. Pada pengembangannya dapat digunakan sebagai alat deteksi material tambal gigi yang cocok digunakan dan memiliki ketahanan terhadap perubahan termal yang baik (Marquis *et. al* , 2010).

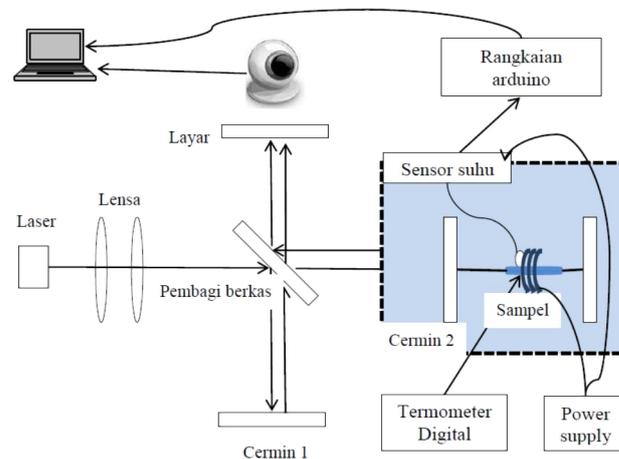
2. Metode Penelitian

Tahap pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah mendesain *hardware*. *Hardware* yang dibangun meliputi rangkaian Interferometer Michelson, rangkaian catu daya, rangkaian sensor suhu LM 35, rangkaian pemanas dan box sampel. Keseluruhan *hardware* di susun seperti tersaji pada Gambar 2.1.

Tahap berikutnya yang dilakukan adalah mendesain *software* yang digunakan untuk menghitung tujuan penelitian. *Software* dibangun dengan Delphi 7. *Software* yang dibangun terdiri dari program perekam dan pencacah frinji, program penampil suhu, dan proram penghitung koefisien muai termal.

Berikutnya, setelah tahap perancangan *hardware* dan *software* selesai dilakukan adalah tahap kalibrasi. Kalibrasi *hardware* dilakukan dengan menghitung waktu pemanasan yang dihasilkan pemanas dalam rentang suhu 30°C sampai dengan 60°C sesuai temperature rongga mulut. Kalibrasi juga dilakukan untuk mengetahui nilai konversi tegangan terhadap suhu dengan cara mencatat nilai tegangan *output* sensor terhadap

nilai tertampil pada termometer digital. *Software* yang dibangun juga dikalibrasi dengan digunakan untuk mengukur panjang gelombang sumber cahaya yang digunakan, yaitu Laser He-Ne.



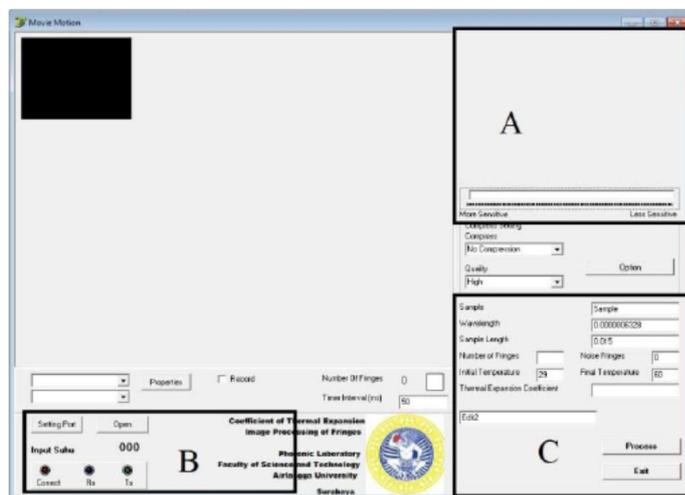
Gambar 3.2 Skema *setup* Penelitian

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk mengetahui karakteristik pemanasan lilitan nikelin, waktu tunda, dan kesesuaian suhu tertampil oleh *software* dengan kalibrator. Setelah pengujian sistem selesai dilakukan, sistem dapat digunakan untuk pengambilan data cacahan latar dan data sampel.

Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali pada masing- masing sampel. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah *resin acrylic* dan *composite nanofiller*. Cetakan sampel adalah spad 3 cc dengan diameter luar 1 cm. Sebelum digunakan untuk mencetak, permukaan luar spad terlebih dahulu diolesi dengan *vaseline* untuk mempermudah pelepasan sampel saat sampel telah mengering. Sampel *resin acrylic* berupa serbuk polimer dan larutan monomer. Serbuk dan larutan ditimbang dengan perbandingan 1 : 1, kemudian diaduk hingga homogen. *Composite nanofiller* sampel berupa *gel* siap pakai. Sebelum mengering, sampel ditempelkan pada permukaan luar spad. *Resin acrylic* yang digunakan merupakan jenis *self-heating* sehingga bisa mengering dalam suhu ruang selama 5 menit. Pengeringan sampel *composite nanofiller* menggunakan lampu halogen. Sampel yang telah mengering, dihaluskan hingga diameter luarnya 1,1 cm. Tinggi sampel dipotong hingga 1,5 cm. Tebal maksimal bahan tambal gigi adalah 2 mm (Park *et. Al*, 2001). Pada penelitian ini sampel dicetak dengan ketebalan 0,5 mm. Ketebalan

berfungsi untuk merekam frinji yang terbentuk pada layar dalam penelitian. Program yang dibangun juga memiliki pengaturan *properties device* yang berfungsi untuk mengatur tingkat *brightness*, *hue*, dan *white balance* pada *device*. Sehingga diperoleh hasil video yang diharapkan.

Setelah milih *device* yang digunakan, langkah selanjutnya adalah memilih resolusi video seperti tersaji pada Gambar 4.9. Pemilihan resolusi ini bertujuan untuk mendapatkan kualitas video yang bagus. Semakin besar resolusi, kualitas video yang didapatkan juga akan semakin bagus. Dalam penelitian ini, resolusi yang digunakan adalah resolusi tertinggi, yaitu 640 x 480 pixel.



Gambar 3.2 Tampilan keseluruhan program

Keterangan :

A : Program perekam dan pencacah frinji

B : Program penampil suhu

C : Program penghitung koefisien muai termal

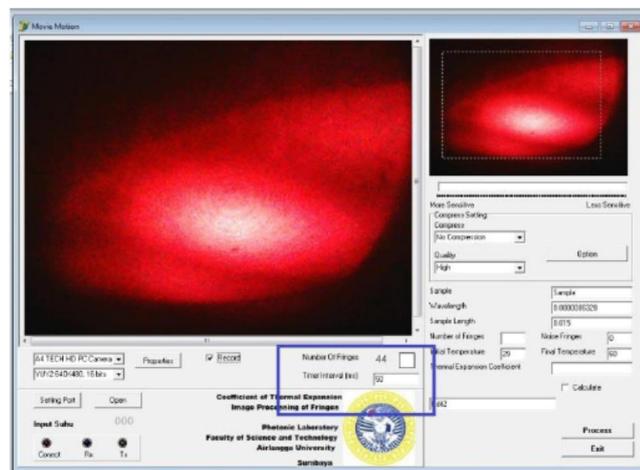
Selain pengaturan *device* dan resolusi, juga penting untuk mengatur kompresi dan kualitas video. Dalam penelitian ini tidak menggunakan kompresi video agar informasi yang dihasilkan tidak hilang. Dan untuk kualitas video, digunakan High.

Dengan menggunakan *Sample Grabber* pada komponen DS Pack yang telah diinstall pada Delphi, program ini mengambil gambar dari masukan webcam dengan interval tertentu. Gambar tersebut disimpan ke bentuk .avi pada folder yang

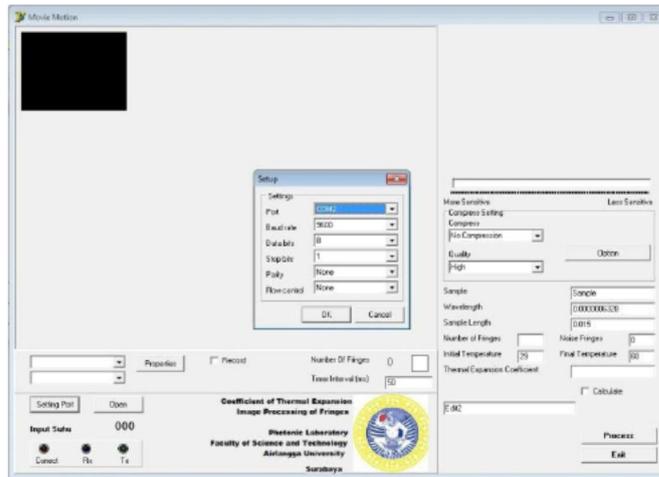
disiapkan. Selain disimpan, gambar yang diambil tersebut juga diproses untuk mencari ada tidaknya gerak, deteksi gerak. Prinsip deteksi gerak telah berhasil untuk menghitung jumlah cacahan frinji pada interferometer Michelson (Atmawati, 2012).

Pada program penghitung koefisien muai termal, dimasukkan parameter yang digunakan, diantaranya : panjang gelombang laser He-Ne, jumlah frinji yang meliputi *noise* sistem, panjang sampel, dan rentang suhu. Rentang suhu yang optimal dalam 30° - 60°C karena temperatur tersebut sesuai dengan temperatur lingkungan mulut (Kishen *et.al*, 2001). Dalam penelitian ini panjang sampel yang digunakan adalah 1,5 cm dengan tebal sampel 0,5 mm. Tebal maksimal bahan tambal gigi adalah 2 mm (Park *et. Al*, 2001).

Kolom *Noise Fringes* yang didapat melalui pengukuran jumlah cacahan frinji saat pemanas dinyalakan tanpa sampel. Hasil frinji yang tercacah akibat perlakuan panas terhadap sampel merupakan pengurangan dari jumlah cacahan frinji pada saat perlakuan dikurangkan dengan jumlah cacahan *noise* frinji.



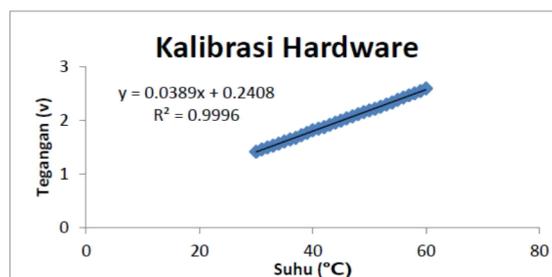
Gambar 3.3 Program perekam dan pencacah frinji



Gambar 3.4 Pengaturan *setting port* pada program penampil suhu

Grafik hasil penelitian berupa data tegangan keluaran rangkaian sensor suhu yang tampil pada serial monitor di arduino terhadap termometer digital (kalibrator) disajikan pada Gambar 3.5. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa nilai tegangan keluaran sensor linear terhadap suhu tertampil pada kalibrator.

Data kalibrasi yang berupa nilai tegangan keluaran dapat dijadikan sebagai nilai konversi tegangan menjadi suhu dengan membalik hubungan antara tegangan keluaran dan suhu. Tegangan keluaran adalah x dan suhu tertampil adalah y , diperoleh hubungan antara tegangan dan suhu, yaitu $y = 25.711x - 6.1739$ dengan koefisien regresi sebesar 0,99. Nilai konversi *hardware* dimasukkan pada program arduino sebagai konversi tegangan ke bentuk suhu.

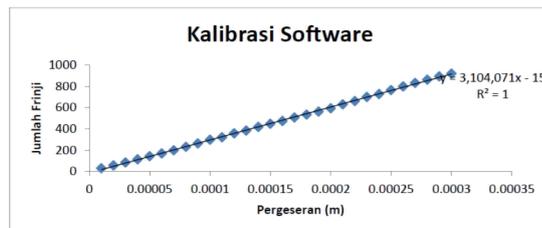


Gambar 3.5 Grafik hubungan suhu terhadap tegangan keluaran sensor

Kalibrasi *software* dilakukan dengan mengamati jumlah cacahan denyut frinji pada saat mikrometer digeser pada rentang panjang tertentu, dalam penelitian ini 10 μ m Pengamatan manual dilakukan dengan mata. Pada penelitian

ini, fungsi mata digantikan oleh kamera yang terhubung dengan program yang telah dibangun.

Selama pergeseran, webcam merekam sekaligus mencacah jumlah frinji yang tampak pada layar. Grafik hubungan jumlah cacahan frinji dan pergeseran disajikan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Grafik hubungan antara pergeseran dan jumlah frinji yang tercacah

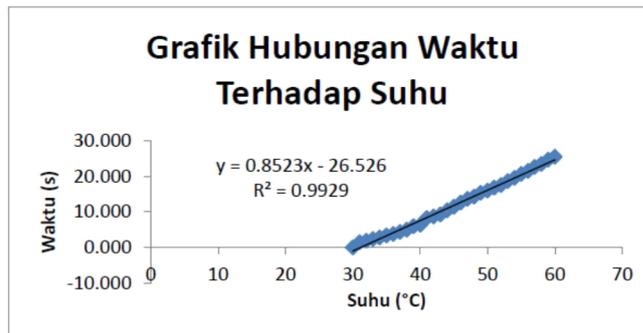
Panjang gelombang yang didapatkan dari perhitungan *software* adalah 644,3 nm sedangkan panjang gelombang Laser He- Ne yang digunakan sebagai sumber bernilai 632,8 nm.

$$\begin{aligned} \text{Persentase kesalahan adalah} &= \left| \frac{\text{literatur} - \text{hasil pengamatan}}{\text{literatur}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{632,8 - 644,3}{632,8} \right| \times 100\% = 1,82\% \end{aligned}$$

Kinerja *software* adalah $100\% - 1,82\% = 98,18\%$

Jadi dapat disimpulkan bahwa persentase kesalahan *software* adalah sebesar 1,82%, sehingga kinerja *software* adalah sebesar 98,18%, dengan nilai sensitifitas 25 dan interval timer 50 ms. Dari data kinerja *software* juga dapat disimpulkan bahwa sistem kurang dapat menangkap jumlah cacahan frinji yang dihasilkan, meskipun telah menggunakan nilai sensitifitas dan *interval timer* terkecil. Kinerja *software* dapat ditingkatkan dengan mengganti alat perekam dengan *frame rate* yang lebih tinggi, yaitu lebih dari 30 *frame/ second*.

Pemanas yang dibangun merupakan lilitan nikelin yang dialiri arus listrik dari sumber tegangan 8,4 volt. Gambar 3.7 menunjukkan grafik hubungan kenaikan suhu dan waktu yang dibutuhkan. Pemanasan dari suhu 30°C - 60°C membutuhkan waktu 25 sekon. Lama waktu tersebut masih berada dalam rentang lama mengunyah manusia yaitu 10 – 30 sekon. Nilai regresi grafik mendekati 1 menunjukkan bahwa karakteristik pemanasan pada lilitan nikelin linear terhadap waktu pemanasan.



Gambar 3.7 Grafik hubungan waktu terhadap suhu

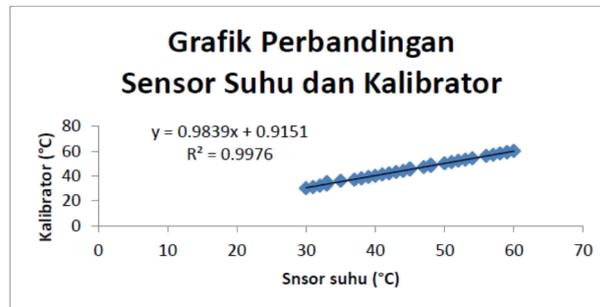
Pengujian delay digunakan untuk mengetahui kondisi *real time* yang dicapai oleh sistem. *Delay* didapat dari pengukuran waktu saat suhu tampil di program dan pada saat suhu tertampil pada termometer digital (kalibrator). Dari dua waktu yang diperoleh, dicari Δt sebagai *delay*. Berdasarkan perhitungan, *delay* yang diperoleh adalah (0,0802 \pm 0,006) sekon.

Suhu yang diterima LM35 merupakan rerata dari suhu udara dan suhu permukaan kontak ke pemanas. Untuk LM 35 TO 92 *plastic package*, dengan *lead* tembaga sebagai jalur pembawa panas pokok ke perangkat, menjadikan suhunya lebih dekat ke suhu lingkungan daripada suhu permukaan kontak (*datasheet* LM 35). Hal ini dapat diminimalisir dengan cara penutupan *lead* tembaga dan semua kabel dengan bahan yang memastikan keseluruhannya berada pada suhu yang sama dengan suhu permukaan kontak dan memastikan bahwa suhu yang terbaca tidak terpengaruh oleh suhu udara. Daya pemanas yang cukup kecil menciptakan waktu lebih lama untuk memanaskan suhu lingkungan sekitar sensor, sehingga terbentuklah *delay* pengukuran antara kalibrator dengan sensor suhu.

Pengujian kinerja sensor bertujuan untuk mengetahui keakuratan sensor dibandingkan dengan termometer digital sebagai kalibrator suhu. Grafik perbandingan sensor dan kalibrator disajikan pada Gambar 3.8. Berdasarkan Gambar 3.8 diperoleh koefisien regresi sebesar 0,9976 , sehingga kinerja sensor dibandingkan dengan thermometer digital adalah sebesar 99,76%.

LM35 memiliki toleransi 1,5°C pada suhu diatas 25°C dan 2°C untuk suhu minimum (0°C) atau suhu maksimum (100°C). Terdapat 5 perbedaan suhu terbaca pada sensor dan kalibrator, 4 diantaranya mempunyai selisih 1°C, yang

berarti masih dalam toleransi pembacaan suhu sensor. Sementara 1 data pada suhu 35°C mempunyai selisih 2°C yang merupakan kesalahan pengukuran sistem sensor.



Gambar 3.8 Grafik perbandingan sursor suhu dan kalibrator

Pengambilan data menggunakan interferometer Michelson *real time* yang telah dibangun untuk mencacah *noise* akibat lingkungan dan sistem menghasilkan data seperti tersaji pada Tabel 3.1. Jumlah cacahan frinji yang tercacah pada saat sistem Interferometer Michelson dijalankan tanpa menggunakan sampel begitu besar, hal ini dapat diminimalisir dengan melakukan pengambilan data pada malam hari. Sistem ini akan menghasilkan pengukuran yang kurang tepat bila digunakan untuk mengukur koefisien muai termal yang menghasilkan jumlah frinji lebih sedikit daripada *noise*-nya.

Sampel *resin acrylic* dan *composite nanofiller* yang telah disiapkan, dimasukkan ke dalam *box* sampel yang telah dibangun. Pengambilan data sampel diambil sebanyak tiga kali. Masing- masing sampel dilakukan pada hari yang berbeda, untuk sampel *resin acrylic* menggunakan jumlah cacahan frinji D1 pada Tabel 3.1, sedangkan untuk *composite nanofiller* menggunakan jumlah cacahan frinji D2 pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jumlah frinji yang tercacah oleh sistem tanpa sampel (*Background*)

Suhu (°C)	Jumlah cacahan frinji	
	D1	D2
30	12	3
35	36	8
40	48	14
45	70	23
50	84	39
55	98	53
60	112	72

Pengukuran sampel *resin acrylic* dilakukan pada hari pertama. Sebelum dilakukan pengukuran terhadap sampel sebanyak 3 kali, terlebih dahulu dilakukan pengukuran akibat *noise* sistem. Hasil pengambilan data sampel *resin acrylic* disajikan pada Tabel 3.2.

Nilai koefisien muai termal *resin acrylic* menurut Spiller (2011) adalah $90.10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Berdasarkan hasil perhitungan didapat nilai koefisien muai termal *resin acrylic* berturut- turut adalah $(99,1\pm 5,12).10^{-6}/^\circ\text{C}$, $(116,0\pm 5,1).10^{-6}/^\circ\text{C}$, dan $(119,0\pm 18,1).10^{-6}/^\circ\text{C}$. Rerata nilai koefisien muai termal *resin acrylic* dari ketiga pengambilan data adalah $(111,37\pm 10,93).10^{-6}/^\circ\text{C}$ dengan persentase kesalahan 23,74% terhadap literatur (Spiller, 2011).

Tabel 3.2 Hasil pengambilan data sampel *resin acrylic*

Suhu (°C)	Jumlah cacahan frinji			
	Noise	Pengambilan Data 1	Pengambilan Data 2	Pengambilan Data 3
30	12	38	32	18
35	36	86	70	74
40	48	132	112	112
45	70	172	158	160
50	84	210	200	208
55	98	252	248	248
60	102	274	294	288

Pengambilan data pada sampel *composite nanofiller* disajikan pada Tabel 3.3, nilai koefisien muai termal berdasarkan literatur adalah $(53,4\pm 0,6).10^{-6}/^\circ\text{C}$ (Park *et. al*, 2011). Hasil dari penelitian yang dilakukan berturut- turut adalah $(50,8\pm 2,3).10^{-6}/^\circ\text{C}$, $(49,7\pm 2,7).10^{-6}/^\circ\text{C}$, dan $(48,5\pm 2,9).10^{-6}/^\circ\text{C}$. Nilai koefisien muai termal yang didapat dari perhitungan adalah $(49,6\pm 0,95).10^{-6}/^\circ\text{C}$, dengan persentase kesalahan sebesar 6,9% terhadap penelitian Park *et.al*, (2011).

Tabel 3.3 Hasil pengambilan data sampel *composite nanofiller*

Suhu (°C)	Jumlah cacahan frinji			
	Noise	Pengambilan Data 1	Pengambilan Data 2	Pengambilan Data 3
30	3	11	12	12
35	8	21	24	24
40	14	40	48	42
45	23	62	64	62
50	39	88	88	86
55	53	118	120	114
60	72	150	152	152

Persentase kesalahan yang begitu besar dari literatur diduga disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya :

1. Pada sampel *resin acrylic*, pembuatan adonan kurang homogen.
2. Kualitas sampel mengalami penurunan akibat perlakuan termal, sehingga terdapat perbedaan yang cukup besar pada masing- masing pengambilan data seperti terlihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.
3. Adanya *delay* sebesar 0,8 sekon yang memungkinkan hilangnya informasi. Hal ini diakibatkan suhu pemanas terus meningkat, sementara sensor terlambat membaca nilai suhu.
4. Kemampuan kamera dalam merekam video dibatasi pada 30 *frame/second*, sehingga memungkinkan adanya frinji yang tidak tercacah.
5. Perbedaan komposisi bahan pada literatur dan pada penelitian. Sehingga sampel penelitian perlu di uji TMA (*Thermomechanical Analysis*) seperti pada penelitian Park *et, al* (2011).

Menurut Spiller (2011) dentin gigi memiliki koefisien muai termal sebesar $9.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Ikatan bahan tambal gigi pada gigi dapat berubah jika antara bahan tambal gigi dan gigi memiliki perbedaan koefisien muai termal Park *et, al* (2011). Hal ini dikarenakan gigi merupakan isothermal yang sangat baik (Kamal, 2008). Penyusutan polimerasi dapat menyebabkan gap antara gigi dan bahan tambal, sehingga mengalami kebocoran (Gerdolle, *et. al*, 2008)

Pada penelitian sistem interferometer Michelson *real time* yang telah didesain dapat digunakan untuk pengukuran koefisien muai termal bahan tambal gigi. Desain ini memperkecil *delay* sebesar 27% dibandingkan penelitian Atmawati (2012), dengan mengganti mikrokontroler yang digunakan. Pengukuran

koefisien muai termal juga menghasilkan persentase kesalahan yang lebih kecil dibandingkan penelitian Atmawati (2012) dengan penggantian desain transmisi ke refleksi.

Sistem pemanas yang dibangun mempunyai daya yang cukup rendah. Waktu pemanasan juga sesuai dengan lama pengunyahan makanan pada rongga mulut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemanas yang dibangun sesuai dengan temperatur rongga mulut.

Berdasarkan hasil penelitian, sistem interferometer Michelson *real time* yang disajikan pada Gambar 3.9 dapat dilanjutkan untuk aplikasi pergeseran berorde mikro bahan- bahan yang sensitif terhadap perubahan panas. Sistem *real time* yang dibangun juga dapat dilanjutkan dengan mengganti sensor suhu atau dengan melapisi *lead* tembaga pada kabel agar tidak terpengaruh dengan suhu luar. Desain pemanas dapat pula dilanjutkan dengan mengganti nikelin dengan bahan yang *biocompatible*, agar sesuai dengan kondisi rongga mulut, tidak hanya suhunya saja. Sampel yang digunakan terlebih dahulu diuji homogenitas dan kemurniannya, karena komposisi sampel menentukan besar koefisien muai termalnya.



Gambar 3.9 Sistem Interferometer Michelson *Real Time*.

Kestabilan sistem ini cukup rendah seperti terlihat dari pengambilan cacahan *background* pada Tabel 3.1, sehingga aplikasinya terbatas pada keadaan yang minim *noise* misalnya malam hari. Kondisi tersebut dapat diperbaiki dengan pembuatan desain *optical bench* sehingga getaran dari lingkungan dapat berkurang. Tingkat kepekaan Interferometer Michelson yang sangat tinggi juga

mengakibatkan terjadinya denyut frinji pada perubahan kerapatan udara saat terjadi pemanasan, sehingga dibutuhkan isolasi berkas Laser yaitu dengan menggunakan *fiber interferometer*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data hasil penelitian, diperoleh bahwa desain sistem interferometer Michelson *real time* yang dibangun dapat digunakan untuk mengukur koefisien muai termal material tambal gigi berbentuk tabung dengan rerata hasil 3 kali perhitungan adalah $(111,37 \pm 10,93) \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ dan mempunyai persentase kesalahan 23,74% terhadap literatur pada sampel *resin acrylic*. Sedangkan pada sampel *composite nanofiller* rata-rata nilai koefisien muai termal dari 3 kali pengambilan data adalah $(49,6 \pm 0,95) \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, dengan persentase kesalahan sebesar 6,9% terhadap penelitian sebelumnya *Delay* sistem sebesar $(0,082 \pm 0,006)$ sekon dengan kinerja sensor sebesar 99,76%. dan kinerja *software* sebesar 98,18%.

5. Daftar Pustaka

- Apsari, R. 1998. Penentuan Koefisien Difusi Larutan Dengan Tehnik Interferometer Holografi. Tesis Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Apsari, R. 2007. Pengembangan Interferometer Berbasis *Electronic Speckle Pattern Interferometry (ESPI)* untuk Analisis Deformasi Suhu Pada Gigi Secara Invitro. Materi Kualifikasi Program Doktor. Program Pasca Sarjana UNAIR. Surabaya.
- Ariyanti, R. 2008. Pengembangan Interferometer Michelson *Real Time* Untuk Deteksi Deformasi Suhu Pada Gigi. Skripsi Departemen Fisika Universitas Airlangga. Surabaya.
- Atmawati, E.U. 2012. Optimasi Interferomer Michelson *Real Time* Untuk Deteksi Koefisien Muai Termal *Composite Nanofiller*. Skripsi Departemen Fisika Universitas Airlangga. Surabaya.
- Born and Wolf. 1980. *Principle of Optics, 6th ed.* Pergamon Press. New York.
- Chapman J.Alan. 1989. *Heat Transfer, fourth edition.* Macmillan Publishing Company. New York.

- Fadlisyah, Fauzan, Taufiq, Zulfikar. 2008. *Pengolahan Citra Menggunakan Delphi*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Firdausy K, Daryono, Anton Y. 2008. *Webcam Untuk Sistem Pemantauan Menggunakan Metode Deteksi Gerakan*. Seminar Nasional. Aplikasi Teknologi Informasi 2008 (SNATI 2008).
- Guenther R.D. 1990. *Modern Optics*. Duke University. Canada.
- Hua Shu C, Shari Feth, S,L Lehoczky. 2009. *Thermal Expansion Coefficient Crystal Between 17° – 1080° by interferometer*. vol 63.
- Jenkins and White. 1984. *Fundamental of Optics*. John Willey and Sons. New York.
- Kishen, Murukeshan, Krishnakumar, Asundi. 2001. *Analysis On The Nature Of Thermally Induced Deformation In Human Dentine By Electronic Speckle Pattern Interferometry (ESPI)*. Journal of Dentistry 29. Nanyang Technological University. Singapore.
- Marquis,DM, Eric Guillaume, Carine CV. 2010. *Properties of Nanofiller in Polymer*. Intech. French.
- Noort VR. 2002. *Introduction to dental materials*. 2nd ed. Mosley; 2002. p. 81–93. London.
- Philips, R.W. 1982. *Science Of Dental Material, 8th Edition*. WB Saunders Co, Philadelphia. Tokyo.
- Philips, R.W. 2003. *Ilmu Bahan Kedokteran Gigi, Edisi 10*. WB Saunders Co, Philadelphia. Pennsylvania.
- Scholl. 2009. *Using a Michelson Interferometer to Measure Coefficient of Thermal Expansion of Copper*. The Physics Teacher, vol 47. Manhattan College. New York.
- Spiller, M.S. 2011. *Dental Composites : A Comprehensive Review*. Academy-Dental Learning and OSHA training. Minnesota.