

**Peluasan Rentang Suhu *Thermochromic Liquid Crystal* sebagai Peluang
untuk Aplikasi Penderita Neropati Diabetik**



Disusun Oleh:

1. Flaviana, S.Si., M.T.
2. Risti Suryantari, M.Sc

Pembina:

Dr. Aloysius Rusli

**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Universitas Katolik Parahyangan
2014**

	FORMULIR	No	F-09
		Berlaku	1 Januari 2013
	PENYELESAIAN KEGIATAN PENELITIAN	Revisi	2
		Unit	LPPM

Catatan:

No Revisi	Bagian Yang Diubah	Disetujui
01	1. Capaian hasil penelitian dilaporkan dalam penyelesaian kegiatan penelitian	Ka. LPPM, Sem. Ganjil 2011-11
02	1. Klasifikasi penelitian disesuaikan dengan hibah dalam Peraturan Yayasan Nomor: Nomor 4 Tahun 2013 dan Peraturan Rektor Nomor III/PRT/2013-01/013	Ka. LPPM Sem Ganjil 2012-13

1.	Judul Penelitian	Peluasan Rentang Suhu <i>Thermochromic Liquid Crystal</i> sebagai Peluang untuk Aplikasi Penderita Neropati Diabetik
2.	Klasifikasi Penelitian ¹	<ol style="list-style-type: none"> ① Hibah Dosen Muda 2. Hibah Monodisiplin 3. Hibah Multidisiplin 4. Hibah Pascasarjana
3.	Ketua Peneliti / Pengusul	
	- Nama	Flaviana, S.Si., M.T.
	- Telp / Extension / Email	08179234003/ext 724/ flaviana@unpar.ac.id
	- N I K	20070610
	- Jab. Fungsional / Struktural	-
	- Bidang Keahlian	Fisika Medis
	- Jurusan / Fakultas	Fisika/FTIS
4.	Pembina (khusus untuk Hibah Dosen Muda)	
	-Nama	Dr. Aloysius Rusli
	-NIK	19810192
	-Jab. Fungsional /Struktural	Lektor Kepala
5.	Semua Anggota Peneliti (termasuk mahasiswa pascasarjana untuk Hibah Pascasarjana)	
	- Nama (Bidang Keahlian)	1. Risti Suryantari, M.Sc (Fisika Material)
6.	Jadwal (max 10 bulan)	Februari s/d November 2014
7.	Capaian ¹	<ol style="list-style-type: none"> ① Makalah ilmiah 2. Buku 3. Teknologi Tepat Guna 4. Rekasaya Sosial 5. Lainnya (sebutkan, misalnya proposal penelitian untuk skema penelitian eksternal / DIKTI).

8.	Laporan keuangan ³	Keterangan	Total
		Transportasi	Rp517.300
		Konsumsi Berat	Rp214.400
		Konsumsi Ringan	Rp131.100
		ATK	Rp199.200
		Photo Copy & Jilid	Rp35.500
		Pembelian Pustaka	Rp317.000
		Voucher	Rp350.000
		Peralatan dan Bahan Habis Pakai	Rp5.237.691
		Honor	Rp2.997.804
			RP 10.000.000
9.	Pembiayaan ¹	<ol style="list-style-type: none"> ① Rp. 10.000.000 (Dosen Muda) 2. Rp. 15.000.000 (Monodisiplin) 3. Rp. 20.000.000 (Multidisiplin) 4. Rp. 20.000.000 (Pascasarjana) 	
10.	Pencairan Tahap II (30 %) ¹	<ol style="list-style-type: none"> ① Rp. 3.000.000 (Dosen Muda) 2. Rp. 4.500.000 (Monodisiplin) 3. Rp. 6.000.000 (Multidisiplin) 4. Rp. 6.000.000 (Pascasarjana) 	

Bandung, 10 November 2014

Ketua Peneliti,

Flaviana, S.Si., M.T.

Menyetujui,

Bandung, 10 November 2014
Ketua Jurusan Fisika

Bandung, 10 November 2014
Dekan FTIS

Philips N. Gunawidjaja, PhD

Paulus Cahyono Tjiang, PhD

Bandung, 10 November 2014
Ketua LPPM,

Dr. Budi Husodo Bisowarno

	FORMULIR	No	F-04
		Berlaku	1 Januari 2013
	BUKTI PELAKSANAAN SEMINAR	Revisi	1
		Unit	LPPM

No Revisi	Bagian Yang Diubah	Disetujui
01	1. Klasifikasi penelitian disesuaikan dengan hibah dalam Peraturan Yayasan Nomor Nomor 4 Tahun 2013 dan Peraturan Rektor Nomor III/PRT/2013-01/013	Ka. LPPM, Sem. Gannjil 2012-13

Dengan ini kami menerangkan bahwa:

1.	Judul Penelitian	Penggunaan <i>Thermochromic Liquid Crystal</i> dalam Pengukuran Distribusi Temperatur Telapak Kaki Manusia sebagai Peluang untuk Aplikasi Penderita Neropati Diabetik
2.	Klasifikasi Penelitian ¹	① Hibah Dosen Muda 2. Hibah Monodisiplin 3. Hibah Multidisiplin 4. Hibah Pascasarjana
3.	Ketua Peneliti / Pengusul	
	- Nama	Flaviana, S.Si., M.T.
	- Telp / Extension / Email	08179234003/ext 724
	- Email	flaviana@unpar.ac.id / vie_belle17@yahoo.com
	- N I K	20070610
	- Jab. Fungsional / Struktural	-
	- Bidang Keahlian	Fisika Medis
	- Jurusan / fakultas	Fisika/FTIS

Telah melaksanakan seminar **Proposal Kegiatan Penelitian / Laporan Hasil Penelitian*** yang diselenggarakan pada 5 Februari 2014, yaitu:

1. Seminar di tingkat KBI / Laboratorium / Jurusan / **Fakultas***
2. Pertemuan ilmiah tingkat nasional:
3. Pertemuan ilmiah tingkat internasional:

* *beri tanda/coret yang sesuai*

* *seminar Proposal Kegiatan Penelitian sekurang-kurangnya di tingkat KBI*

Bandung, 10 November 2014

Ketua Jurusan Fisika

Philips N. Gunawidjaja, PhD

DAFTAR ISI

Daftar Isi.....	5
Daftar Gambar.....	6
Daftar Tabel.....	7
Abstrak.....	8
Bab I Pendahuluan.....	9
1.1 Latar Belakang.....	9
1.2 Rumusan Masalah.....	9
1.3 Hipotesis.....	10
1.4 Tujuan	10
1.5 Batasan Masalah	10
Bab II Tinjauan Pustaka.....	10
2.1 Sensitivitas TLC terhadap Temperatur.....	11
2.2 Teknik Pengukuran Temperatur	12
2.3 Peluang untuk Aplikasi TLC	13
2.3.1 Sistem Regulasi Temperatur Kaki.....	13
2.3.2 Peluang untuk Aplikasi TLC pada Penderita Diabetes Melitus	13
Bab III Metode Penelitian.....	15
3.1 Lokasi Penelitian	16
3.2 Rancangan Penelitian.....	16
3.2.1 Alat dan Bahan	16
3.2.2 Teknik Pengumpulan Data	17
3.2.3 Metode Pengolahan Citra	18
Bab IV Jadwal Penelitian.....	19
Bab V Hasil dan Pembahasan.....	20
5.1 Hasil dan Pembahasan Citra Labu Erlenmeyer	20
5.2 Hasil dan Pembahasan Citra Subyek Telapak Tangan.....	21
Bab VI Kesimpulan dan Saran.....	24
6.1 Kesimpulan.....	24
6.2 Saran.....	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Grafik Hubungan antara Panjang Gelombang Cahaya terhadap Temperatur	10
Gambar 2-2	Grafik nilai <i>hue</i> - temperatur pada material TLC.....	11
Gambar 2-3	Respons Temperatur Kulit-Impuls per detik	12
Gambar 2-4	Central ulcerated plantar callus pada PVD dan Neropati Sensorik.....	14
Gambar 3-1	Sistem <i>Thermochromic Liquid Crystal</i> menggunakan <i>scanner</i>	16
Gambar 3-2	Keseluruhan Skema Perancangan Sistem Pemrosesan Citra Permukaan Labu Erlenmeyer.....	17
Gambar 3-3	Prosedur pengumpulan serta pengolahan citra subyek telapak tangan.....	17
Gambar 3-4	Keseluruhan Skema Perancangan Sistem Pemrosesan Citra Subyek Telapak Tangan.....	18
Gambar 5-1	Hasil Pengolahan Citra Labu Erlenmeyer Bertemperatur 34°C.....	20
Gambar 5-2	Grafik Nilai Statistik <i>Hue</i> pada Lembaran TLC 30-35°C.....	21
Gambar 5-3	Hasil Proses Pengolahan Citra Telapak Tangan Subyek ke-3.....	22
Gambar 5-4	Grafik perbandingan temperatur telapak tangan kelima subyek yang diperoleh dari hasil pengukuran sensor temperatur dan dari hasil perekaman serta pengolahan citra pada lembar TLC 30-35°C.....	23

DAFTAR TABEL

Tabel 5-1	Tabel Data Temperatur Rata-rata (\bar{T}_{sensor}) Telapak Tangan Menggunakan Sensor Temperatur.....	22
Tabel 5-2	Tabel Nilai <i>Hue</i> Citra serta Temperatur Telapak Tangan (Thue).....	22

ABSTRAK

Temperatur merupakan salah satu parameter penting yang merepresentasikan kondisi kesehatan tubuh manusia. Pengukuran secara konvensional belum sepenuhnya akurat, ringkas dan tepat, maka diperlukan material *Thermochromic Liquid Crystal* (TLC) yang berdasarkan karakteristik susunan molekulnya, memiliki respon terhadap perubahan temperatur lokal yang ditunjukkan dengan perubahan warna.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan dan mempelajari penerapan sistem pengukuran distribusi temperatur berbasis TLC pada sejumlah subyek telapak tangan manusia. Manfaat penelitian ini adalah bahwa hasil pemetaan temperatur terhadap sejumlah subyek tersebut memberikan peluang aplikasi terhadap penderita Diabetes Melitus yang mengalami komplikasi kronis dengan gejala berupa ulkus/borok yang tidak sembuh-sembuh pada kaki atau tangan. Metode penelitian yang digunakan ialah menggunakan sistem berbasis pada penelitian Flaviana tahun 2012 dan spesifikasi alat untuk pengambilan citra yang dilengkapi dengan perangkat keras dan lunak serta metode pengolahan citra, dengan mengambil citra kanal *hue* sebagai parameter, melalui operasi morfologi matematika.

Kata kunci : pengukuran distribusi temperatur, Diabetes Melitus, *Thermochromic Liquid Crystal*, morfologi matematika, citra kanal *hue*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manusia memiliki sistem homeostasis¹ yang baik dalam menstabilkan beberapa faktor yang menjadi parameter kondisi tubuh, seperti temperatur, pH, glukosa, dan sebagainya. Temperatur merupakan salah satu parameter penting yang merepresentasikan kondisi kesehatan tubuh manusia. Jika temperatur di suatu area permukaan tubuh lebih tinggi atau lebih rendah dari area lain secara tidak normal, maka kondisi tersebut dapat diperkirakan memiliki masalah seperti infeksi, nekrosis², dan sebagainya^[1]. Dengan demikian pengembangan teknik pengukuran temperatur permukaan yang akurat diperlukan untuk kemajuan dalam pemahaman mengenai fenomena termal pada tubuh manusia. Beberapa teknik pencitraan termal telah banyak diaplikasikan dalam bidang medis, salah satunya adalah menggunakan kristal cair.

Material *Thermochromic Liquid Crystal* berdasarkan karakteristik susunan molekulnya, memiliki respon terhadap perubahan temperatur lokal yang ditunjukkan dengan perubahan warna. Sebuah penelitian menggunakan *platform* yang diletakkan TLC dan kamera digital dalam mengakuisisi data, dapat mengukur distribusi temperatur pada subyek penderita neuropati diabetik^[2].

Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya telah dibuat karakterisasi material TLC (rentang temperatur 25°C-30°C) untuk menghasilkan cara pengukuran temperatur dengan menggunakan *scanner* dalam merekam citra warna obyek tertentu. Dengan perolehan data respon kontur warna yang direfleksikan oleh lembaran TLC, dilakukan konversi citra RGB ke dalam HSV, selanjutnya diambil citra kanal *hue* sebagai parameter yang dihasilkan melalui pemrosesan citra. Selanjutnya dari pemrosesan citra dengan teknik operasi morfologi matematika, dapat dipilih hubungan antara nilai *hue* citra dengan temperatur permukaan obyek yang menyentuh lembaran TLC^[3].

Penelitian serupa menggunakan sistem berbasis termografi inframerah pada pasien Diabetes. Penelitian tersebut difokuskan untuk membangun sistem klasifikasi baru, yaitu melakukan segmentasi citra telapak kaki pasien diabetes^[4].

Pada penelitian ini akan dilakukan penerapan metode pengukuran tersebut terhadap sejumlah sampel yaitu subyek berupa telapak tangan manusia. Dengan melakukan pemetaan temperatur terhadap sejumlah subyek tersebut, terdapat peluang untuk aplikasi terhadap penderita Diabetes Melitus yang mengalami komplikasi kronis dengan gejala berupa ulkus/borok yang tidak sembuh-sembuh pada kaki (Neropati Diabetik)^[5] atau pada tangan untuk jangka panjang^[6].

1.2 Rumusan Masalah

Citra subyek telapak tangan manusia, yang diperoleh melalui proses akuisisi citra, memerlukan suatu proses pengolahan citra hingga didapatkan hasil citra yang paling baik. Melalui penelitian sebelumnya (Flaviana, 2012) telah dilakukan karakterisasi terhadap material TLC (rentang temperatur 25°C-30°C) menggunakan perangkat lunak Matlab melalui operasi morfologi matematika. Keluaran akhir optimal yang diperoleh yaitu berupa data statistik dari hasil citra ekstraksi fitur dan relasinya dengan temperatur. Data statistik yang telah diperoleh

¹ suatu kondisi keseimbangan internal yang ideal, di mana semua sistem tubuh bekerja dan berinteraksi dalam cara yang tepat untuk memenuhi semua kebutuhan dari tubuh

² kematian patologis satu atau lebih sel atau sebagian jaringan atau organ, yang dihasilkan dari kerusakan ireversibel

tersebut digunakan sebagai dasar untuk melakukan penelitian selanjutnya. Dengan menerapkan metode pengukuran distribusi temperatur tersebut terhadap sejumlah subyek telapak kaki manusia, akan memunculkan permasalahan tersendiri dalam proses akuisisi dan pengolahan citra.

Dari permasalahan-permasalahan yang dikemukakan sebelumnya, dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana cara menerapkan sistem pengolahan citra yang telah diperoleh untuk mendapatkan informasi mengenai distribusi temperatur subyek telapak tangan manusia?

1.3 Hipotesis

Dengan menerapkan metode pengukuran distribusi temperatur tersebut terhadap sejumlah subyek berupa telapak tangan manusia, dapat dijadikan dasar pengukuran distribusi temperatur obyek yang relatif lebih mudah dan efisien karena obyek cukup diletakkan di atas lembar TLC beberapa saat untuk diambil datanya. Selain itu juga biaya yang dikeluarkan cukup murah bila dibandingkan dengan menggunakan kamera termal dalam pengukurannya.

1.4 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang ada, tujuan penelitian ini adalah:

1. Melakukan penerapan sistem pengukuran temperatur berbasis TLC pada sejumlah subyek berupa telapak tangan manusia.

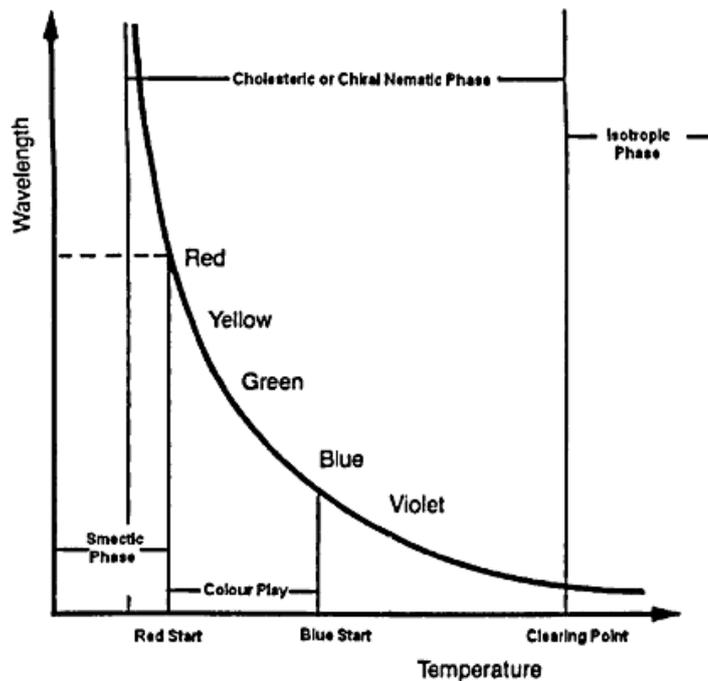
1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini citra subyek telapak tangan manusia direkam dengan menggunakan lembaran TLC yang telah terkalibrasi sebelumnya dan diletakkan di atas *scanner*. Melalui langkah-langkah pemrosesan citra tertentu diperoleh hasil citra yang lebih baik yang selanjutnya akan dilakukan ekstraksi fitur berdasarkan data nilai statistik yang diperoleh dari pemrosesan citra.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sensitivitas TLC terhadap Temperatur

Liquid crystal memiliki sifat optik kristal namun menunjukkan perilaku mekanik zat cair. Ketika ada cahaya yang terpolarisasi datang, *liquid crystal* akan memantulkan cahaya tersebut dalam rentang panjang gelombang tertentu^[7]. Gelombang cahaya yang datang akan membawa sejumlah paket energi tertentu yang sebanding dengan nilai frekuensinya dan juga memiliki sejumlah radiasi yang besarnya akan sebanding dengan temperatur. Gambar 2-1 di bawah ini menunjukkan hubungan antara panjang gelombang yang dipantulkan dengan respon temperatur berdasarkan sensitivitas temperatur TLC.



Gambar 2-1 Grafik Hubungan antara Panjang Gelombang Cahaya terhadap Temperatur^[7]

TLC memiliki respon terhadap perubahan temperatur lokal yang ditunjukkan dengan perubahan warna. TLC menunjukkan warna-warna tersebut secara selektif dengan memantulkan cahaya putih yang datang^[7]. Namun efek dominan yang terjadi adalah permainan warna yang disebabkan oleh interferensi dan difraksi cahaya. TLC campuran biasanya memiliki karakteristik dengan memunculkan salah satu warna (merah, kuning, hijau, biru atau ungu) yang bergantung pada panjang gelombang pantulan maksimum pada temperatur tertentu.

Color play atau permainan warna pada TLC biasanya didefinisikan dengan spesifikasi warna tertentu misal *red start* atau *mid-green*. Sebagai contoh TLC R35C1W menggambarkan TLC campuran dengan *red start* pada 35°C dengan *bandwidth* 1°C. *Clearing point* adalah rentang area temperatur di mana warna tidak muncul, sering disebut juga sebagai *cholesteric liquid crystal to isotropic liquid* sebagai temperatur transisi. Rentang temperatur untuk TLC yang tersedia biasanya adalah mendekati -30°C sampai dengan 115°C^[7].

Permainan warna dan *clearing point* pada TLC bersifat sangat sensitif dan rentan untuk berubah selama proses-proses tertentu yang dilakukan pada lembar TLC.

2.2 Teknik Pengukuran Temperatur

Dari sub-bab sebelumnya telah dijelaskan tentang sensitivitas *Thermochromic Liquid Crystal* (TLC) terhadap temperatur. Pengembangan teknik pengukuran temperatur permukaan yang akurat diperlukan untuk kemajuan dalam pemahaman mengenai fenomena termal pada tubuh manusia. Beberapa teknik pencitraan termal telah diaplikasikan dalam bidang medis.

Penelitian yang dilakukan Mori, et.al., 2013, menggunakan sistem berbasis termografi inframerah pada pasien Diabetes. Penelitian tersebut difokuskan untuk membangun sistem klasifikasi baru, yaitu melakukan segmentasi citra telapak kaki pasien diabetes^[4].

Pada penelitian sebelumnya, sistem TLC menggunakan *scanner* (Flaviana, 2012), dapat memiliki respon linear perubahan warna terhadap perubahan temperatur suatu obyek yang menyentuhnya. Dari eksperimen yang dilakukan dengan labu erlenmeyer, dapat dibuat keterkaitan temperatur dengan perubahan warna yang muncul pada lembar TLC. Dengan menggunakan nilai *hue* TLC sebagai parameter warna TLC dan melalui tahapan pemrosesan citra, dapat diperoleh teknik untuk mengukur temperatur permukaan suatu obyek^[3].

Penelitian menggunakan *platform* menggunakan TLC dan kamera digital dalam mengakuisisi data, dapat mengukur distribusi temperatur pada subyek penderita neuropati diabetik (Bharara, 2007). Dari penelitiannya, didapat hubungan antara nilai *hue* (warna) pada lembar TLC dengan temperatur subyek yang menyentuhnya. Gambar 2-2 menunjukkan grafik hubungan antara nilai *hue* terhadap temperatur^[2].

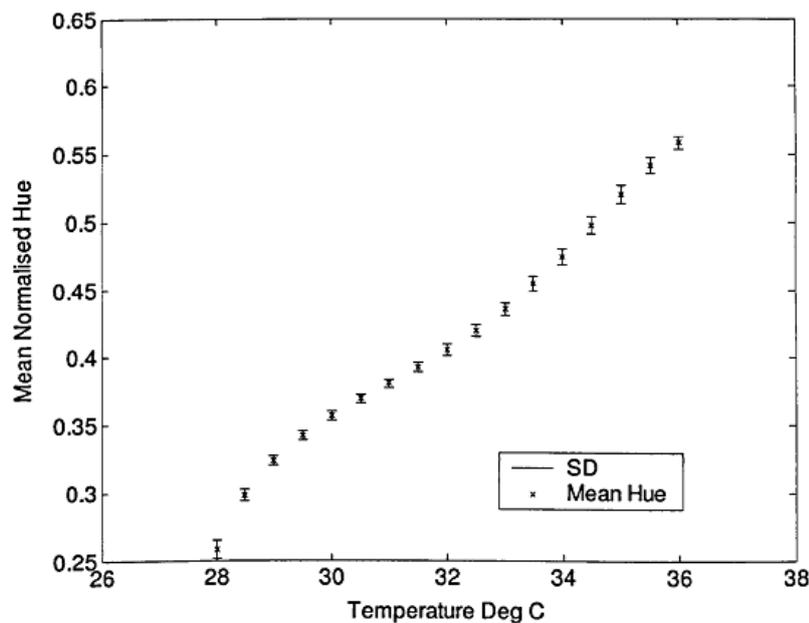


Figure 4-6: Hue versus temperature data points for a TLC sheet material R25C5W. Error bars shown indicate the standard deviation in hue for n=30 samples within the useful hue range at each temperature set point.

Gambar 2-2 Grafik nilai *hue*- temperatur pada material TLC^[2]

Selain itu dikembangkan juga metode lain oleh Ammer et al., menggunakan *scanner* infra merah AGEMA 870 untuk mengamati hubungan antara perubahan kulit pada kaki penderita diabetes tipe II dengan area terjadinya peningkatan temperatur pada kaki tersebut^[8].

TLC dalam bidang medis dapat membantu menentukan kondisi metabolisme lokal tubuh dan kondisi vaskular. Temperatur kulit yang lebih rendah mengindikasikan vasokonstriksi³ dan temperatur yang lebih tinggi mengindikasikan kondisi terjadinya inflamasi atau naiknya laju darah akibat aktivitas metabolisme yang lebih tinggi^[2].

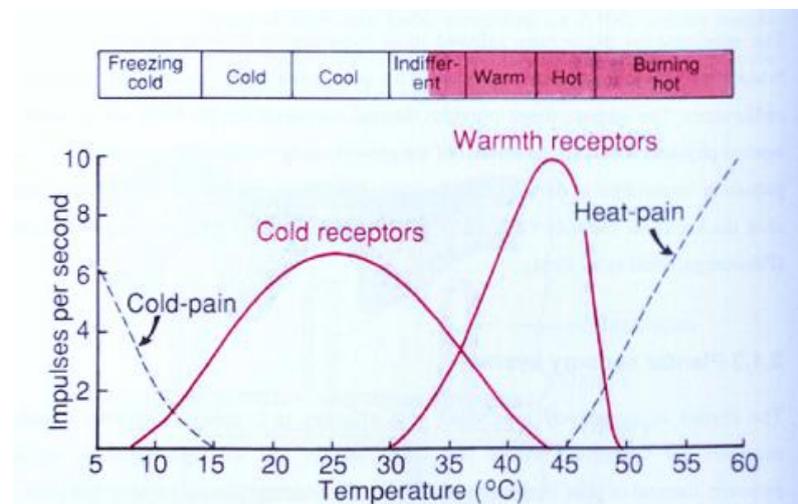
³ Penyempitan pembuluh darah

2.3 Peluang untuk Aplikasi TLC

Tubuh manusia memiliki sistem homeostasis yang baik dalam mengontrol beberapa faktor yang menjadi parameter kondisi tubuh, seperti temperatur, pH, glukosa, dan sebagainya. Temperatur merupakan salah satu parameter penting yang merepresentasikan kondisi kesehatan tubuh manusia. Jika temperatur di suatu area permukaan tubuh lebih tinggi atau lebih rendah dari area lain secara tidak normal, maka kondisi tersebut dapat diperkirakan memiliki masalah penyakit tertentu.

2.3.1 Sistem Regulasi Temperatur Kaki

Salah satu bagian tubuh manusia yang memiliki peranan penting dalam menyokong tubuh saat berdiri maupun berjalan adalah plantar (telapak) kaki. Jaringan kulit kaki biasanya distimulasi oleh reseptor sensorik. Reseptor sensorik ini akan mendeteksi stimulus berupa sentuhan, tekanan, termal atau sensitivitas sel-sel saraf. Konsentrasi reseptor sensorik relatif tinggi di daerah telapak kaki [9].



Gambar 2-3 Respons Temperatur Kulit-Impuls per detik [2]

Reseptor termal terletak di dekat permukaan kulit. Sedangkan reseptor mekanik kulit memiliki struktur yang lebih kompleks dan dibedakan menurut responnya. Temperatur kulit akan mengubah reseptor termal maupun reseptor sentuhan [10].

Reseptor sensorik memiliki distribusi sensitivitas sepanjang permukaan kulit. Gambar 2-3 merupakan grafik hubungan antara rentang temperatur tertentu yang mempengaruhi reseptor termal [10].

Reseptor dingin berada di kedalaman kulit 0,16 mm di ujung serat saraf bermielin. Reseptor panas terletak di kedalaman 0,45 mm di ujung saraf tidak bermielin dan lajunya bertambah sebanding dengan kenaikan temperatur. Kedua jenis reseptor termal ini berhubungan dengan sistem saraf pusat untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan, perubahan vaskular, perubahan tulang, infeksi atau gabungan dari faktor-faktor tersebut.

2.3.2 Peluang untuk Aplikasi TLC pada Penderita Diabetes Melitus

Berdasarkan data *World Health Organization* (WHO) dan *International Diabetes Federation* (IDF), Indonesia menempati posisi keempat teratas negara-negara dengan penderita diabetes tertinggi setelah India, Cina dan Amerika Serikat. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) jumlah penyandang diabetes pada tahun 2003 sebanyak 13,7 juta orang dan

berdasarkan pola pertumbuhan penduduk diperkirakan pada 2030 akan ada 20,1 juta penyandang diabetes dengan tingkat prevalensi 14,7 persen untuk daerah urban dan 7,2 persen di rural ^[11].

Berbagai pilihan untuk pengobatan banyak tersedia dalam menangani antara lain dalam menormalkan jumlah hiperglikemia dalam tubuh pasien. Bagaimanapun juga, para penderita diabetes melitus mengalami banyak masalah dengan komplikasi yang terjadi akibat penyakit tersebut.

Komplikasi yang terjadi pada penderita diabetes melitus meliputi masalah akut dan kronis, sebagian besar mempengaruhi sistem mikrovaskular dan makrovaskular. Masalah pada sistem mikrovaskular berkaitan dengan komplikasi retinopati, nefropati dan neuropati. Gangguan sistem makrovaskular berkaitan dengan komplikasi kardiovaskular, cerebrovaskular dan vaskular perifer. Kerusakan pada sistem makrovaskular merupakan hal yang umum terjadi pada penderita diabetes maupun non-diabetes yang ditandai oleh terjadinya *plaque* pada dinding endotelium (aterosklerosis) ^[12].

Masalah diabetes yang lebih sering terjadi adalah khususnya pada bagian bawah tubuh, yaitu penyakit vaskular perifer (PVD) dan neuropati. PVD ditandai dengan perubahan laju darah dan dapat menurunkan persediaan nutrisi pada tubuh bagian bawah, sehingga kaki lebih rentan mengalami ulkus. Neuropati merupakan perubahan metabolisme dan berkurangnya suplai darah pada sel-sel saraf sebagai akibat dari perubahan kadar glukosa darah. Neuropati diabetik merupakan penyebab utama terjadinya ulkus pada kaki (Gambar 2-4) dan secara jarang dan jangka panjang pada tangan ^[6].

Masalah ulkus pada kaki biasanya muncul pada sekitar 4-10% penderita diabetes yang risikonya lebih rendah pada pasien yang berusia relatif muda dan sangat tinggi pada penderita yang berusia lebih tua. Hasil yang paling merugikan dari timbulnya ulkus pada kaki adalah amputasi. Dari sebuah data diperoleh bahwa 85% kasus amputasi pada pasien diabetes diawali oleh timbulnya ulkus pada kaki. Resiko ulkus dan amputasi meningkat 2 sampai 4 kali lipat dengan bertambahnya usia pasien dan jangka waktu pasien menderita diabetes tersebut.



Gambar 2-4 *Central ulcerated plantar callus* pada PVD dan Neuropati Sensorik ^[13]

Tindakan pencegahan ulkus pada kaki penderita diabetes dengan mengidentifikasi individual yang beresiko tinggi merupakan cara yang paling efektif dalam mengurangi tindakan amputasi yang harus dilakukan pada pasien diabetes ^[12]. Faktor utama yang mempengaruhi terjadinya komplikasi pada kaki penderita diabetes adalah penyakit neuropati perifer dan vaskular perifer. Penurunan fungsi yang terjadi pada saraf sensorik secara progresif mempengaruhi reseptor termal dan reseptor mekanik ^[14]. Gangguan pada kaki penderita

diabetes dapat dikenali dengan terjadinya perubahan warna yang signifikan dan naiknya temperatur pada kaki ^[15].

Metode yang sering digunakan untuk melakukan pemeriksaan komplikasi kaki terhadap penderita diabetes adalah dengan melakukan pemeriksaan kondisi kaki pasien secara fisik. Beberapa gejala yang muncul adalah seperti pembengkakan/edema, kenaikan temperatur, iskemi, luka pada jaringan, menurunnya sensitivitas, kelainan bentuk kaki, luka akibat benda tajam, mobilitas sendi yang terbatas, trauma panas dan tanda-tanda kemunduran lain yang dialami oleh kaki.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium *Research*, Gedung 10 lantai 3, Program Studi Fisika, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

3.2 Rancangan Penelitian

3.2.1 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari lembaran *Thermochromic Liquid Crystal* (TLC) yang diletakkan di atas mesin *scanner* (Gambar 3-1). *Scanner* tersebut dikoneksikan ke komputer untuk proses akuisisi citra. Spesifikasi alat yang digunakan dalam modul pengambilan citra adalah sebagai berikut.

a. Perangkat Keras

1. Lembaran *Thermochromic Liquid Crystal* (TLC).
 - Ukuran : 30 cm x 30 cm.
 - Rentang temperatur: 30-35 °C.
2. Alat *scanner* tipe HP 4510.
 - Resolusi optik : 300 dpi dan *bit depth* 24-bit color.
 - Sumber cahaya: *LED*.
3. *Personal Computer* (PC)/Laptop.
 - Sistem Operasi *Windows*8.
4. Sensor temperatur dengan skala -20° -110° C.
5. Labu Erlenmeyer.
6. Air dan pemanas air.

b. Perangkat Lunak

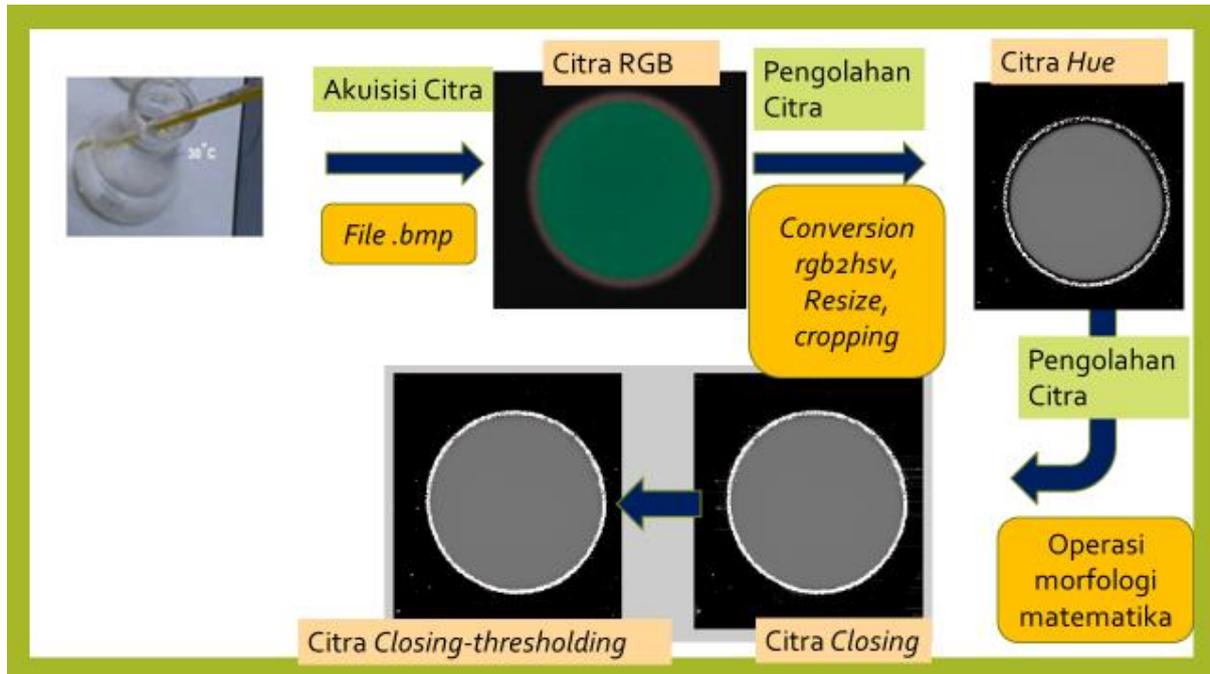
1. *HP Toolbox* untuk akuisisi citra dari *scanner*.
2. *Matlab R2014a* untuk proses pengolahan citra.
3. *CMA coach6lite* untuk pembacaan skala sensor temperatur dengan ketelitian setiap 1 detik.



Gambar 3-1 Sistem *Thermochromic Liquid Crystal* menggunakan *scanner*

3.2.2 Teknik Pengumpulan Data

Tahapan yang dilakukan dalam melakukan pengumpulan dan analisis data dibagi menjadi dua, tahap pertama melakukan perekaman serta analisis nilai *hue* citra permukaan labu erlenmeyer pada TLC dengan rentang temperatur 30-35 °C seperti pada Gambar 3-2 dan tahap kedua menerapkan proses tersebut pada subyek berupa telapak tangan manusia (Gambar 3-3).



Gambar 3-2 Keseluruhan Skema Perancangan Sistem Pemrosesan Citra Permukaan Labu Erlenmeyer

Pada tahapan kedua, yaitu untuk pengukuran temperatur subyek telapak tangan, melalui prosedur seperti pada Gambar 3-3. Pada prosedur 1, dilakukan pengaturan awal peralatan dan bahan untuk merekam citra subyek telapak tangan. Lembaran TLC 30-35 °C diletakkan di atas mesin *scanner* dan *scanner* tersebut dikoneksikan ke komputer untuk proses perekaman citra dengan temperatur ruang dijaga konstan 20 °C.



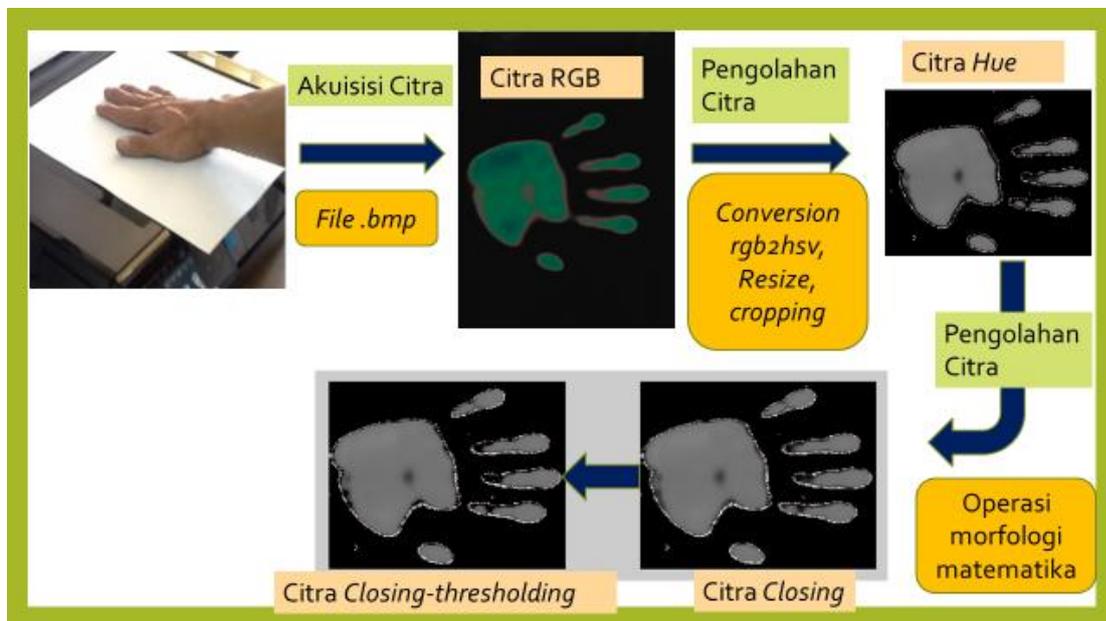
Gambar 3-3 Prosedur pengumpulan serta pengolahan citra subyek telapak tangan.

Subyek yang terdiri dari lima orang diambil data temperatur telapak tangannya masing-masing menggunakan sensor temperatur terlebih dahulu. Telapak tangan subyek ke-1 menggenggam sensor temperatur kira-kira selama 1 menit. Setelah data temperatur subyek yang terbaca melalui perangkat lunak CMA *coach6lite* terlihat stabil, kira-kira pada detik ke 31 hingga 60 data tersebut direkam kemudian dihitung nilai temperatur rata-ratanya (\bar{T}_{sensor}). Setelah itu data temperatur direkam.

Pada tahapan kedua, subyek ke-1 meletakkan telapak tangannya di atas lembaran TLC untuk dilakukan proses perekaman citra menggunakan perangkat lunak *HP Toolbox* (proses perekaman citra oleh *scanner* rata-rata adalah 20 detik). Citra subyek yang telah diakuisisi disimpan dalam *file .bmp*. Kedua tahapan tersebut diulangi untuk subyek ke-2 hingga ke-5

Selanjutnya pada tahapan ketiga dilakukan proses pengolahan citra menggunakan perangkat lunak *MatlabR2014a* untuk menghasilkan citra yang lebih baik untuk dapat dilakukan ekstraksi fitur. Keseluruhan skema perancangan sistem pemrosesan citra ditunjukkan pada Gambar 3-4.

3.2.3 Metode Pengolahan Citra



Gambar 3-4 Keseluruhan Skema Perancangan Sistem Pemrosesan Citra Subyek Telapak Tangan

Untuk proses akuisisi citra, dilakukan dalam rentang waktu tertentu sesuai dengan pembacaan yang dilakukan mesin *scanner*. Citra yang telah diperoleh selanjutnya disimpan dalam *file .bmp*. Citra awal yang didapat bertipe RGB (*red, green, blue*) dan dikonversi menjadi HSV (*hue, saturation, value*) menggunakan fungsi 'rgb2hsv' pada Matlab. Dari citra HSV kemudian diambil komponen citra *hue* saja sebagai penyederhanaan citra dalam melakukan analisis. Citra tersebut selanjutnya diolah melalui proses pengolahan citra pada Gambar 3-3.

Setelah melalui proses pengolahan citra hingga diperoleh citra yang lebih baik, selanjutnya citra tersebut akan dianalisis secara kuantitatif melalui proses ekstraksi fitur berupa nilai statistik piksel.

BAB IV
JADWAL PELAKSANAAN

Berikut adalah rancangan jadwal pelaksanaan penelitian selama bulan Januari-
November 2014.

No.	Jadwal Kegiatan	Bulan										
		Jan	Feb	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Ags	Sept	Okt	Nov
1	Diskusi awal											
2	Pembelian bahan											
3	Perancangan											
4	Pengambilan data											
5	Analisis											
6	Diskusi											
7	Pembuatan makalah											
8	Diskusi akhir											
9	Pengumpulan laporan											

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Pembahasan Citra Labu Erlenmeyer

Pada tahapan pertama, dari pengumpulan serta analisis citra yang dilakukan pada permukaan labu Erlenmeyer untuk rentang temperatur 30-35 °C ($\Delta T = 1^\circ\text{C}$) diperoleh hasil sebagai berikut.

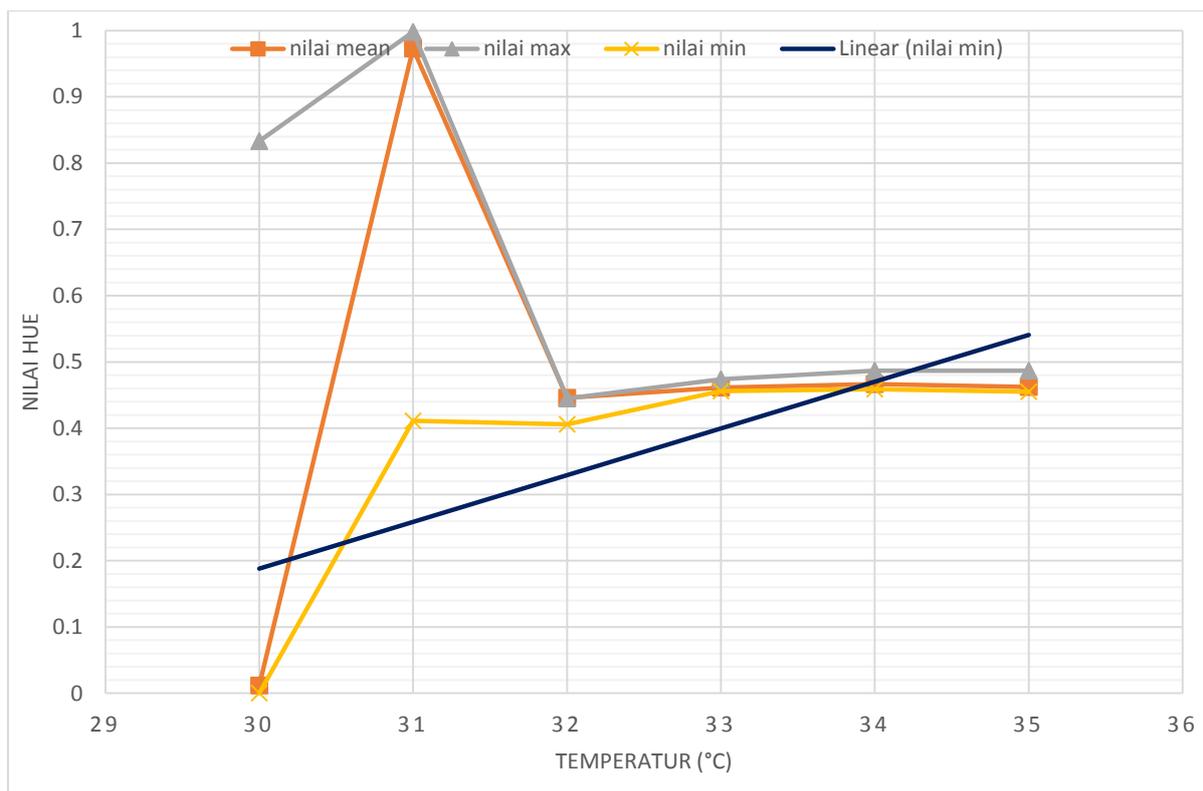


Gambar 5-1 Hasil Pengolahan Citra Labu Erlenmeyer Bertemperatur 34 °C

Gambar 5-1 menunjukkan hasil pengolahan citra labu Erlenmeyer yang diatur pada temperatur 34 °C. Berdasarkan gambar tersebut, kolom pertama menunjukkan citra asli RGB dan kolom kedua menunjukkan hasil konversi menjadi citra *hue*. Jika dilihat dari hasil citra di kolom kedua, maka masih terlihat adanya perbedaan pola yang terbentuk di tepi lingkaran. Pada pemrosesan citra, dibutuhkan prosedur yang efisien untuk proses deteksi khususnya pada tepi lingkaran tersebut sebelum dapat dilakukan ekstraksi fitur. Oleh karena itu, dilakukan lagi suatu metode pengolahan citra berdasarkan morfologi matematika. Morfologi Matematika (*Mathematics Morphology*) adalah sebuah metode untuk menganalisis citra berbasis operasi tetangga non-linear (*Nonlinear Neighbourhood Operation*)^[6].

Pada pengolahan citra kali ini dipilih operasi *closing* 10 kali menggunakan elemen struktur *SE line*. Setelah itu dilakukan proses *thresholding* melalui fungsi iterasi pada *Matlab* dengan memilih batas nilai *hue* piksel yang ingin diambil agar diperoleh citra permukaan labu Erlenmeyer yang lebih baik^[6].

Dari proses pengolahan yang dilakukan pada keenam citra, terlihat perbedaan pada setiap citra tersebut. Selanjutnya secara kuantitatif, citra akhir hasil pengolahan citra dapat diukur berdasarkan nilai statistiknya (*mean, max, min, mode, standar deviation*). Gambar 5-2 menunjukkan relasi antara rentang temperatur dengan nilai *hue* citra permukaan labu Erlenmeyer pada lembaran TLC 30-35 °C berdasarkan nilai statistiknya.



Gambar 5-2 Grafik Nilai Statistik Hue pada Lembaran TLC 30-35 °C

Berdasarkan grafik pada Gambar 5-2, terlihat pada kurva nilai *min*-nya, bahwa untuk setiap kenaikan temperatur nilai *hue*-nya juga semakin meningkat. Pada kurva nilai *max* maupun *mean* di rentang temperatur 32-35 °C juga terlihat relasi yang cukup linear antara temperatur dengan nilai *hue*-nya. Namun pada rentang temperatur 30-31 °C tidak terlihat hubungan yang linear antara temperatur dengan nilai *hue*-nya. Hal ini mungkin disebabkan adanya kondisi *red start* pada bahan TLC 30-35 °C yang memiliki komponen nilai *hue* hampir mendekati 0 sekaligus hampir mendekati 1. Agar hasil analisis kuantitatif citra akhir labu Erlenmeyer dapat digunakan sebagai penerapan untuk mengukur temperatur pada subyek berupa telapak tangan, maka dilakukan linearisasi kurva berdasarkan kurva nilai *min* seperti pada Gambar 5-2 berupa garis biru gelap.

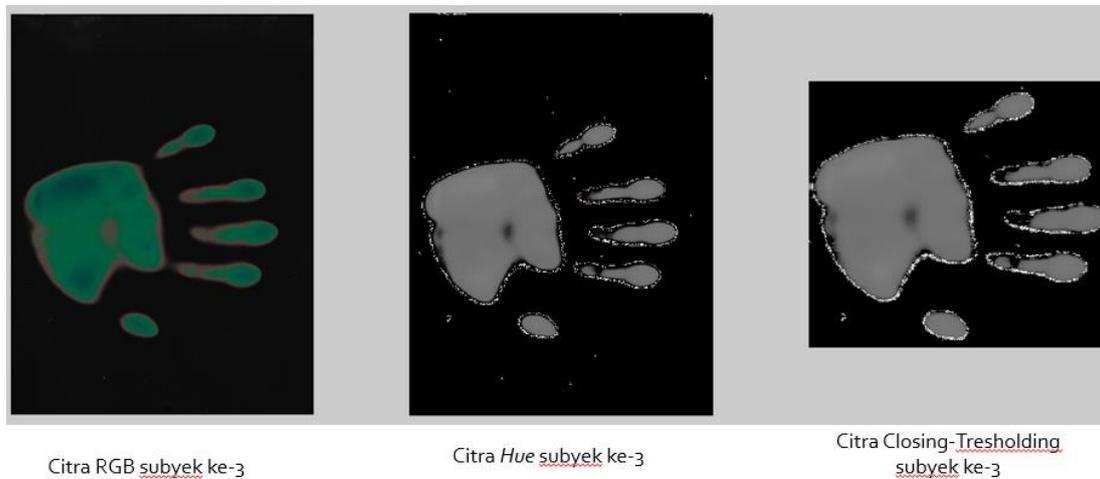
4.2 Hasil dan Pembahasan Citra Subyek Telapak Tangan

Pada penelitian ini diambil sampel ($n = 5$) berupa telapak tangan yang akan dianalisis temperatur telapak tangannya berdasarkan nilai *hue* yang diperoleh dari proses pengolahan citra yang telah dilakukan sebelumnya pada permukaan labu Erlenmeyer. Subyek terdiri dari 4 pria dan 1 wanita dengan usia (27 ± 9.57 tahun, rata-rata \pm standar deviasi). Pada Subbab 3.2.3 telah dijelaskan bahwa pengukuran temperatur telapak tangan tersebut juga dilakukan oleh sensor temperatur sebagai pembanding dari hasil data yang diperoleh melalui proses pengolahan citra pada lembar TLC. Berikut adalah Tabel 5-1 yang menunjukkan data temperatur telapak tangan menggunakan sensor temperatur.

Tabel 5-1 Tabel Data Temperatur Rata-rata (\bar{T}_{sensor}) Telapak Tangan Menggunakan Sensor Temperatur

Subyek ke-	T sensor (° C)
1	32,37
2	35,1
3	33,01
4	30,35
5	33,47

Selanjutnya dari hasil pengolahan citra subyek berupa telapak tangan, dilakukan proses pengolahan citra yang ditunjukkan melalui Gambar 5-3 sebagai berikut.



Gambar 5-3 Hasil Proses Pengolahan Citra Telapak Tangan Subyek ke-3

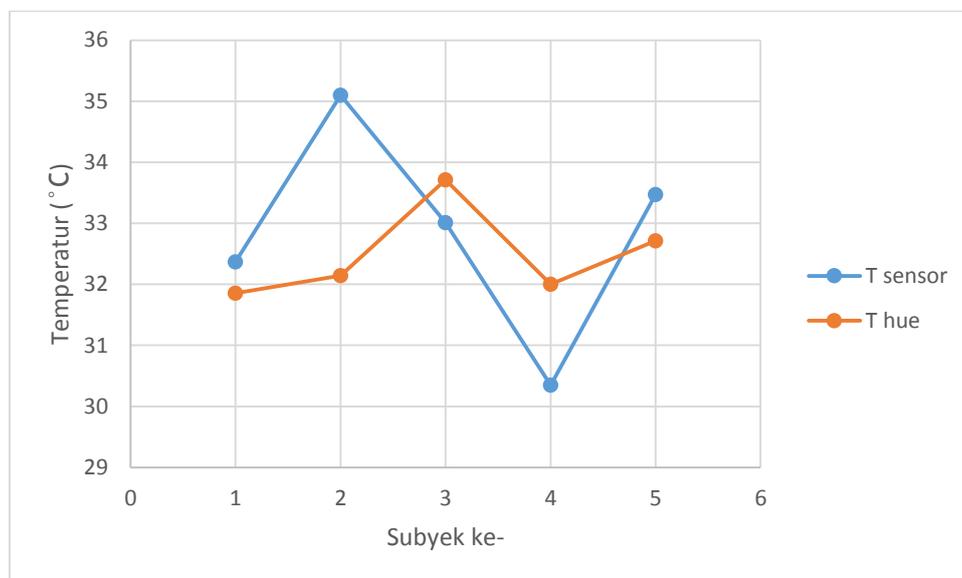
Dari Gambar 5-3 di atas terlihat adanya sebaran warna yang ditunjukkan pada contoh citra RGB subyek ke-3. Melalui proses pengolahan citra yang sama dengan yang telah dilakukan pada permukaan labu Erlenmeyer, diperoleh citra *hue* dan *closing-thresholding* kelima subyek untuk digunakan dalam pengukuran secara kuantitatifnya.

Hasil citra akhir masing-masing subyek diukur secara kuantitatif berdasarkan nilai statistiknya. Pada penelitian kali ini, nilai statistik citra *hue* subyek yang diambil adalah nilai *mean* dari keseluruhan citra telapak tangan yang telah melalui proses *closing* dan *thresholding*. Melalui analisis pengukuran temperatur pada permukaan labu Erlenmeyer yang telah dilakukan sebelumnya (Gambar 5-2), maka dapat dilakukan penentuan nilai temperatur telapak tangan kelima subyek berdasarkan nilai *hue* rata-rata citra telapak tangannya. Berikut adalah tabel yang menunjukkan nilai *hue* rata-rata serta nilai kisaran temperatur telapak tangan kelima subyek.

Tabel 5-2 Tabel Nilai *Hue* Citra serta Temperatur Telapak Tangan (T_{hue})

subyek ke-	Nilai <i>hue</i> rata-rata	T_{hue} (° C)
1	0.320	31.857
2	0.340	32.143
3	0.450	33.714
4	0.330	32
5	0.380	32.714

Nilai temperatur telapak tangan kelima subyek yang sebelumnya diperoleh dari pengukuran menggunakan sensor temperatur, dijadikan pembandingan dengan nilai temperatur yang diperoleh dari hasil pengolahan citra *hue* subyek tersebut. Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5-4, terlihat adanya perbedaan pada masing-masing pengukuran temperatur telapak tangan subyek. Hal ini mungkin disebabkan oleh selang waktu yang cukup lama (5-15 menit) antara pengambilan data temperatur telapak tangan menggunakan sensor temperatur dan perekaman citra telapak tangan dengan TLC. Telapak tangan subyek bisa mengalami perubahan temperatur dalam proses interaksi dengan temperatur ruang saat itu (20 °C).



Gambar 5-4 Grafik perbandingan temperatur telapak tangan kelima subyek yang diperoleh dari hasil pengukuran sensor temperatur dan dari hasil perekaman serta pengolahan citra pada lembar TLC 30-35 °C.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah diukur relasi citra *hue* labu Erlenmeyer pada permukaan TLC terhadap perubahan temperatur berdasarkan linearisasi dari nilai *min* citra *hue*-nya. Terlihat bahwa nilai *min* citra *hue* berbanding cukup linear untuk setiap kenaikan temperatur.

Pengukuran temperatur selanjutnya diterapkan pada sejumlah subyek berupa telapak tangan manusia. Dengan melakukan perbandingan terhadap pengukuran yang dilakukan dengan sensor temperatur, hasil akhir pengolahan citra *hue* telapak tangan kelima subyek menunjukkan sedikit perbedaan pada nilai temperatur yang diperoleh. Perbedaan ini mungkin disebabkan belum dilakukannya kalibrasi pada pengambilan data temperatur subyek.

6.2 SARAN

Hasil akhir penelitian ini masih berupa temperatur rata-rata telapak tangan. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menerapkan sejumlah metode segmentasi citra untuk mengklasifikasi temperatur di masing-masing area telapak tangan. Penelitian yang telah dilakukan pada sejumlah subyek berupa telapak tangan ini memberi peluang untuk dilakukan aplikasi terhadap penderita diabetes melitus yang memiliki komplikasi PVD atau neuropati diabetik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cheng, Kuo-Sheng, et al., 2002. The Application of Thermal Image Analysis to Diabetic Foot Diagnosis. *Journal of Medical and Biomedical Engineering*. 22(2): 75-82.
2. Bharara, Manish (2007). *Liquid Crystal Thermography in Neuropathic Assesment of Diabetic Foot*, PhD Thesis, Bournemouth University.
3. Flaviana (2012). Master Tesis: Karakterisasi *Thermochromic Liquid Crystal* dalam Pengukuran Distribusi Temperatur Berbasis *Mathematical Morphology* pada Citra *Hue*. Institut Teknologi Bandung.
4. Mori, Taketoshi. Et al. (2013). *Morphological Pattern Classification System for Plantar Thermography of Patients with Diabetes*. *Journal of Diabetes Science and Technology*, Volume 7, Issue 5.
5. Cornblath, David R. (2004). *Diabetic Neuropathy: Diagnostic Methods*. *Advanced Studies in Medicine* 2004; 4(8A): S650-S661.
6. Wang, C., et al. (2010). *A Clinical Analysis of Diabetic Patients with Hand Ulcer in a Diabetic Foot Centre*. *Journal Diabetic Medicine* Vol 27, 848-851.
7. Hallcrest (1991). *Handbook of Thermochromic Liquid Crystal*. Glenview, IL, Hallcrest.
8. Ammer, K. et al. (2001). *Thermal Imaging of Skin Changes on The Feet of Type II Diabetics*. *Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE*, Volume: 3.
9. Kennedy, Paul M., and J. Timothy Inglis (2002). *Distribution and Behaviour of Glabrous Cutaneous Receptors in The Human Foot Sole*. *Journal of Physiology* 538.8, 995-1002.
10. Guyton (1992). *Human Physiology and Mechanisms of the Disease*. Philadelphia, W. B. Saunders Company.
11. Sudoyo, Aru W., et.al. (2006) *Buku Ajar Penyakit Dalam*. Pusat Penerbitan Ilmu Penyakit Dalam FKUI, Jakarta. Sudoyo, Aru W., et.al. (2006) *Buku Ajar Penyakit Dalam*. Pusat Penerbitan Ilmu Penyakit Dalam FKUI, Jakarta. Sudoyo, Aru W., et.al. (2006) *Buku Ajar Penyakit Dalam*. Pusat Penerbitan Ilmu Penyakit Dalam FKUI, Jakarta.
12. Boulton, A., Connor, H. and Cavanagh, P. R., Eds. (1998). *The Foot in Diabetes*, John Wiley & Sons
13. Wollina, Uwe (2009). *Thermal and Mechanical Skin Injuries*. *CME Dermatol* 4(1), 4-18.

14. Ziegler, D., Mayer, P. and Wiefels, K. (1988). "*Assessment of small and large fibre function in long term type 1 (insulin dependent) diabetic patients with and without painful neuropathy.*" *Pain* 34: 1-10.
15. Benbow, Susan J., et al. (1994). *The Prediction of Diabetic Neuropathic Plantar Foot Ulceration by Liquid-Crystal Contact Thermography.* *Diabetes Care Journal.* Vol:17 No.8.