

**Pengembangan Teknik Termografi sebagai Aplikasi pada
Penderita Neuropati 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
2015**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	2
DAFTAR GAMBAR	3
DAFTAR TABEL	4
ABSTRAK	5
BAB I PENDAHULUAN	7
1.1 Latar Belakang	7
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Hipotesis.....	8
1.4 Tujuan	8
1.5 Batasan Masalah	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
<u>2.1</u> Diabetes Mellitus	9
<u>2.2</u> Teknik Termografi	10
BAB III METODE PENELITIAN	19
<u>3.1</u> Lokasi Penelitian.....	19
<u>3.2</u> Tahapan Penelitian.....	19
<u>3.3</u> Rancangan Penelitian.....	20
BAB IV JADWAL PELAKSANAAN	21
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	22
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	26
DAFTAR PUSTAKA.....	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Central ulcerated plantar callus pada penderita PVD dan Neuropati Sensorik ^[15]	10
Gambar 2.2 Pengaturan TLC[7].....	11
Gambar 2.3 Grafik nilai hue terhadap temperatur TLC R25C5W. Error bars menunjukkan standar deviasi nilai hue sebanyak 30 sampel[7].....	12
Gambar 2.4 Grafik Temperatur rata-rata pangkal metatarsal kedua (untuk tiga grup studi) terhadap waktu pengambilan data[7].....	13
Gambar 2.5 Grafik Temperatur rata-rata tumit kaki (untuk tiga grup studi) terhadap waktu pengambilan data[7].....	13
Gambar 2.6 Sistem pengukuran temperatur menggunakan TLC dan scanner[8]	14
Gambar 2.7 Kalibrasi TLC menggunakan wadah labu Erlenmeyer bersuhu (25-30)°C[8]	14
Gambar 2.8 Grafik nilai statistik mean hue pada sampel 1 dan sampel 2[18]	15
Gambar 2.9 Citra telapak tangan subyek ke-3 hasil pengolahan citra berdasarkan morfologi matematika[19]	16
Gambar 2.10 Variasi pola termografi telapak kaki. (Warna merah mengindikasikan temperatur yang lebih tinggi, warna biru mengindikasikan temperatur yang lebih rendah)[6].....	17
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	19

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rentang suhu yang berguna untuk masing-masing TLC	11
Tabel 2.2 Komposisi grup studi pasien untuk studi klinis ^[7]	12
Tabel 2.3 Nilai statistik hue citra permukaan TLC pada proses kalibrasi ^[8]	15
Tabel 2.4 Nilai Temperatur rata-rata telapak tangan (n = 5) yang diperoleh dari pengolahan citra TLC dan dari penggunaan sensor temperatur	16
Tabel 2.5 Karakteristik grup studi pasien dalam studi klinis ^[6]	16
Tabel 2.6 Variasi pola termografi telapak kaki grup normal dan grup DM ^[6]	18
Tabel 5.1 Macam-macam penelitian teknik termografi yang dikembangkan untuk aplikasi penderita neuropati diabetik.....	22
Tabel 5.2 Teknik pengolahan citra yang digunakan untuk aplikasi penderita neuropati diabetik.....	24

ABSTRAK

Neuropati Diabetik merupakan salah satu komplikasi yang sering muncul pada penderita diabetes dengan gejala sering munculnya ulkus pada kaki yang cukup sulit ditangani melalui terapi konvensional serta beresiko terburuk yaitu amputasi pada tungkai bawah tubuh. Salah satu metode yang cukup efektif dalam mengurangi kemungkinan terjadinya komplikasi kaki melalui beberapa penelitian sebelumnya adalah dengan melakukan monitorisasi pada temperatur kulit, atau secara khusus dikenal dengan teknik termografi.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi klinis mengenai kondisi penderita komplikasi kaki neuropati diabetik serta perkembangan teknik termografi dan teknik pengolahan citra dalam mengatasi masalah terkait. Dua metode utama yang dibahas dalam penelitian ini adalah menggunakan kamera termal inframerah dan *Thermochromic Liquid Crystal*. Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi, gagasan dan perspektif baru terkait dengan strategi pencegahan dan penanggulangan faktor resiko Diabetes Mellitus, khususnya untuk komplikasi kaki pada penderita neuropati diabetik, melalui teknik termografi. Metode penelitian yang digunakan adalah melalui studi pustaka.

Kata kunci : Neuropati Diabetik, teknik termografi, pengolahan citra, kamera termal inframerah, *Thermochromic Liquid Crystal*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Diabetes mellitus (DM) adalah penyakit kronis yang disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh untuk memproduksi hormon insulin atau karena penggunaan yang tidak efektif dari produksi insulin yang ditandai dengan tingginya kadar gula dalam darah^[1]. Penyakit DM merupakan penyakit umum di seluruh dunia dan frekuensinya secara stabil meningkat. Jumlah penderita diabetes di seluruh dunia diprediksi mengalami peningkatan sekitar dua kali lipat dari 171 juta orang pada tahun 2000 menjadi 366 juta pada tahun 2030^[2]. Di Indonesia terdapat kasus penderita diabetes pada orang dewasa (20-79 tahun) sejumlah 9 juta orang (5,8%), dengan jumlah kematian akibat penyakit diabetes sebesar 175.936 orang (1,9%)^[3].

Neuropati Diabetik merupakan salah satu komplikasi yang sering muncul pada penderita diabetes dengan gejala-gejala sensoris pada ujung jari atau telapak kaki, namun pada beberapa pasien juga dapat mengalami gejala sensoris pada tangan^[4]. Munculnya ulkus pada kaki penderita neuropati diabetik merupakan komplikasi yang cukup sulit ditangani melalui terapi konvensional serta beresiko terburuk yaitu amputasi pada tungkai bawah tubuh^[5]. Penanganan yang biasanya dilakukan terdiri dari beberapa macam metode klinis seperti pemeriksaan kaki, penggunaan sepatu khusus dan sebagainya^[5]. Salah satu metode yang cukup efektif dalam mengurangi kemungkinan terjadinya komplikasi kaki melalui beberapa penelitian sebelumnya adalah dengan melakukan monitorisasi pada temperatur kulit, atau secara khusus dikenal dengan teknik termografi^[6-8].

Rekomendasi *World Health Organization* (WHO), mengenai perlunya strategi yang efektif serta dilakukan secara terintegrasi dalam menangani kasus DM di suatu negara, beserta implementasi berbagai strategi dari program pemerintah yang dinamakan *Indonesian Diabetes Prevention Program* (IDPP) menyatakan bahwa salah satu tahapan yang perlu dilakukan terkait dengan pencegahan dan penanggulangan faktor resiko DM ini adalah dengan melakukan studi klinis dilihat dari berbagai faktor serta menjalin kemitraan dengan lintas sektor melalui pembentukan jejaring kelompok kerja diabetes^[9,10]. Studi klinis merupakan studi penelitian untuk mengeksplorasi strategi, penanganan, atau peralatan medis yang aman dan efektif bagi manusia^[11].

Teknik termografi pada permukaan tubuh, yang terus berkembang, diperlukan dalam penanganan komplikasi pada kaki penderita diabetes. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi klinis melalui penelusuran pustaka guna memberikan informasi, gagasan dan perspektif baru terkait dengan pencegahan dan penanggulangan faktor resiko DM, khususnya untuk komplikasi kaki pada penderita neuropati diabetik, melalui teknik termografi.

1.2 Rumusan Masalah

Teknik termografi khususnya untuk aplikasi penderita neuropati diabetik berkembang secara meluas yang dapat dilihat melalui penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya^[6-8]. Namun perkembangan ini belum disertai pengetahuan secara komprehensif oleh masyarakat awam maupun para ahli di bidang medis, sains, dan teknologi di Indonesia. Hal ini mungkin disebabkan oleh belum adanya laporan yang menyajikan perkembangan teknik termografi secara terintegrasi dan selalu diperbarui guna memperoleh strategi yang tepat dalam menangani kasus DM.

Dari permasalahan yang dikemukakan sebelumnya, dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana cara membuat serta menyajikan laporan perkembangan teknik termografi yang informatif dan diperbarui?
2. Bagaimana cara menyajikan teknik pengolahan citra telapak tangan dan/atau kaki manusia?

1.3 Hipotesis

Dengan melakukan penelusuran pustaka mengenai perkembangan teknik termografi untuk aplikasi penderita neuropati diabetik, dapat dijadikan bahan pustaka bagi para ahli di bidang medis, sains, dan teknologi di Indonesia untuk menangani kasus DM. Selain itu dapat digunakan masyarakat awam sebagai informasi mengenai alternatif penanganan kasus DM dari segi teknik dan biaya yang harus dikeluarkan.

1.4 Tujuan

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

1. Membuat serta menyajikan laporan perkembangan teknik termografi yang informatif dan diperbarui.
2. Menyajikan teknik pengolahan citra telapak tangan dan/atau kaki manusia.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini bahan pustaka yang ditelusuri terkait dengan tiga macam penelitian mengenai teknik termografi yang diterapkan untuk penanganan kasus DM, khususnya komplikasi kaki pada penderita neuropati diabetik selama 10 tahun terakhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Diabetes Mellitus

Diabetes mellitus (DM) adalah penyakit kronis yang disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh untuk memproduksi hormon insulin atau karena penggunaan yang tidak efektif dari produksi insulin yang ditandai dengan tingginya kadar gula dalam darah^[1]. Penyakit DM merupakan penyakit umum di seluruh dunia dan frekuensinya secara stabil meningkat. 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^[12]. Jumlah penderita diabetes di seluruh dunia diprediksi mengalami peningkatan sekitar dua kali lipat dari 171 juta orang pada tahun 2000 menjadi 366 juta pada tahun 2030^[2]. Di Indonesia terdapat kasus penderita diabetes pada orang dewasa (20-79 tahun) sejumlah 9 juta orang (5,8%), dengan jumlah kematian akibat penyakit diabetes sebesar 175.936 orang (1,9%)^[3]

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)^[13].

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. Ulkus merupakan penyakit pada kulit atau membran mukus, disertai hancurnya jaringan dan sering muncul pada kulit tubuh bagian bawah atau saluran pencernaan.

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 2.1) dan jarang serta dalam jangka panjang dapat ditemukan pada tangan^[14].

Masalah ulkus pada kaki biasanya muncul pada sekitar 4-10% penderita diabetes yang resikonya 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 2.1 Central ulcerated plantar callus pada penderita PVD dan Neuropati Sensorik [15]

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 [13]. 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 [16]. Gangguan pada kaki penderita diabetes dapat dikenali dengan terjadinya perubahan warna yang signifikan dan naiknya temperatur pada kaki [17].

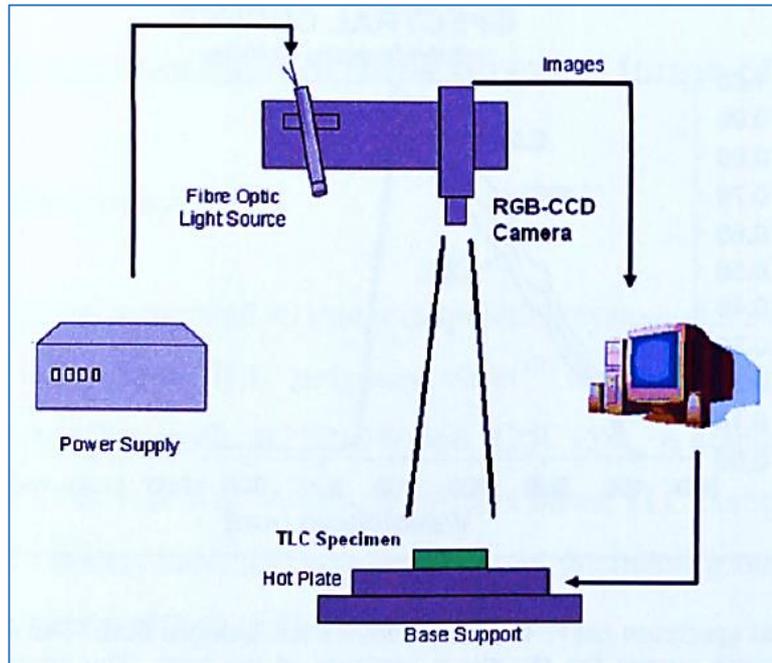
2.2 Teknik Termografi

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.

Teknik termografi pada permukaan tubuh, yang terus berkembang, diperlukan dalam penanganan komplikasi pada kaki penderita diabetes. Pada penelitian ini diidentifikasi tiga macam teknik pengukuran distribusi temperatur untuk diagnosis masalah penderita neuropati diabetik, dua di antaranya telah melakukan aplikasi klinis.

2.2.1 Teknik Termografi I: Menggunakan *Platform* dan *Thermochromic Liquid Crystal (TLC)*[7]

Penelitian yang dilakukan Bharara, 2007 menggunakan *platform* dan TLC serta kamera digital dalam mengakuisisi data untuk mengukur distribusi temperatur permukaan telapak kaki penderita neuropati diabetik (Gambar 2.2). *Platform* tersebut dilengkapi dengan sumber cahaya *light emitting diode (LED) strips* yang menghasilkan intensitas cahaya tinggi. Selain itu, digunakan sebuah cermin tertentu untuk mengoptimalkan pantulan dari cermin yang membentuk sudut tertentu terhadap kamera.



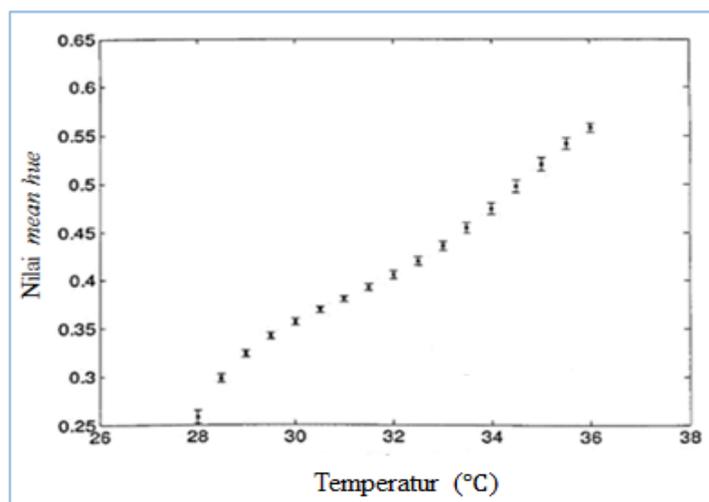
Gambar 2.2 Pengaturan TLC[7]

Penelitian ini menggunakan tiga macam lembar TLC dengan kode R25C5W, R25C10W, dan R25C15W. Sebagai contoh, *TLC* R25C10W menggambarkan *TLC* dengan *mid-green* pada temperatur *event* 25°C, dan *bandwidth* 10°C. *Clearing point* adalah rentang area temperatur di mana warna tidak muncul lagi (hitam). Diawali dengan melakukan kalibrasi temperatur masing-masing *TLC*, hingga diperoleh rentang temperatur yang berguna untuk dipakai (Tabel 2.1) dalam eksperimen selanjutnya.

Tabel 2.1 Rentang suhu yang berguna untuk masing-masing *TLC*

Material	Temperatur Event (°C)	Temperatur Clearing Point (°C)	Bandwidth warna (°C)	Rentang Temperatur hasil kalibrasi (°C)
R25C5W	25	46 ± 0,1	25 - 30	28 - 36
R25C10W	25	56 ± 0,1	25 - 35	29 - 41
R25C15W	25	52 ± 0,1	25 - 45	29 - 46

Dari proses kalibrasi yang dilakukan tersebut, melalui proses pengolahan citra menggunakan *Matlab* diperoleh hubungan nilai *mean hue* *TLC* terhadap temperatur (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Grafik nilai hue terhadap temperatur TLC R25C5W. Error bars menunjukkan standar deviasi nilai hue sebanyak 30 sampel[7].

Setelah melakukan kalibrasi, dilakukan implementasi secara klinis terhadap 90 subyek. Subyek tersebut dikelompokkan menjadi tiga grup studi meliputi

- (a) Pasien penderita diabetes dengan komplikasi neuropati ($n = 28$)
- (b) Pasien penderita diabetes tanpa mengalami komplikasi neuropati ($n = 23$)
- (c) Pasien sehat ($n = 30$)

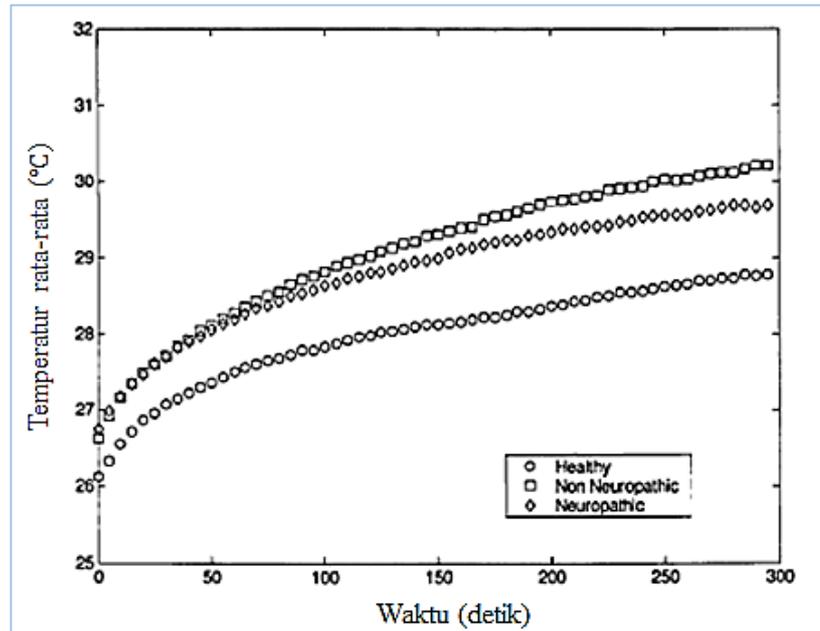
Berikut komposisi grup studi (Tabel 2.2) berdasarkan beberapa parameter penting seperti umur, jenis kelamin, lama menderita diabetes dan indeks massa tubuh (BMI).

Tabel 2.2 Komposisi grup studi pasien untuk studi klinis^[7]

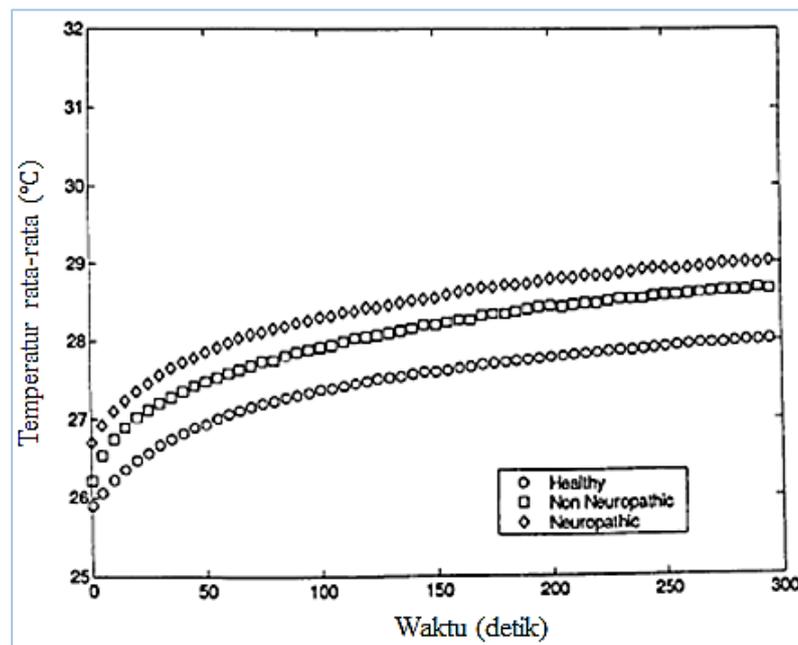
Parameter grup pasien	Neuropati diabetik	Diabetes tanpa komplikasi neuropati	Normal/sehat
Jumlah subyek (n)	28	23	30
Laki-laki/Perempuan	24/4	15/8	8/22
Usia (tahun; rata-rata \pm standar deviasi)	57,92 \pm 7,08	50,35 \pm 7,08	32,43 \pm 7,3
Lama menderita diabetes (tahun; rata-rata \pm standar deviasi)	14,75 \pm 6,8	9,45 \pm 5,8	-
BMI (kg/m²; rata-rata \pm standar deviasi)	25,24 \pm 3,77	25,31 \pm 3,48	25,07 \pm 4,16

Setelah memperoleh komposisi grup studi pasien berdasarkan beberapa parameter penting tersebut, dilakukan pengujian klinis terhadap pasien tersebut melalui serangkaian tes. Pengambilan datanya dilakukan terhadap bagian pangkal dan ujung kaki, yaitu pangkal metatarsal kedua (pangkal jari kaki telunjuk) dan tumit.

Dari proses pengambilan citra, pengolahan serta analisis terhadap nilai *hue* citra telapak kaki pasien diperoleh hubungan antara nilai temperatur rata-rata telapak kaki ketiga grup studi dengan durasi waktu pengambilan citra selama 300 detik (Gambar 2.4 dan 2.5).



Gambar 2.4 Grafik Temperatur rata-rata pangkal metatarsal kedua (untuk tiga grup studi) terhadap waktu pengambilan data[7].



Gambar 2.5 Grafik Temperatur rata-rata tumit kaki (untuk tiga grup studi) terhadap waktu pengambilan data[7].

2.2.2 Teknik Termografi II: Menggunakan TLC dan Scanner^[8, 18, 19]

Flaviana, 2012 melakukan teknik termografi berbasis TLC. Material *Liquid crystal* ini dipilih karena memiliki sifat optik kristal, namun menunjukkan perilaku mekanik zat cair. Ketika sejumlah cahaya terpolarisasi dikenakan pada bahan *liquid crystal*, maka bahan tersebut akan memantulkan cahaya tersebut dalam rentang panjang gelombang tertentu. Gelombang cahaya yang datang akan membawa sejumlah paket energi tertentu yang sebanding dengan nilai frekuensinya, dan juga memiliki sejumlah energi radiasi yang besarnya akan sebanding dengan temperatur^[8].

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. Pada penelitian ini, lembar TLC R25C5W dikalibrasi terlebih dahulu agar dapat mengukur distribusi temperatur permukaan obyek tertentu yang menyentuh TLC tersebut^[8].

Teknik akuisisi citra secara langsung agak sulit dilakukan karena sifat TLC yang memiliki respon perubahan warna sangat cepat sewaktu disentuh dengan benda bertemperatur tertentu (tidak lebih dari beberapa milidetik). Agar hasil citra yang diperoleh lebih baik, dibutuhkan perangkat keras tambahan berupa *scanner* (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Sistem pengukuran temperatur menggunakan TLC dan scanner^[8]

Kalibrasi terhadap lembaran TLC dilakukan dengan langkah sebagai berikut. Enam buah wadah berupa labu erlenmeyer diisi dengan air yang masing-masing diukur dan diatur beda temperaturnya setiap 1 °C dari (25-30)°C. Wadah-wadah tersebut diletakkan di atas lembar TLC yang berada di atas mesin *scanner* (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Kalibrasi TLC menggunakan wadah labu Erlenmeyer bersuhu (25-30)°C^[8]

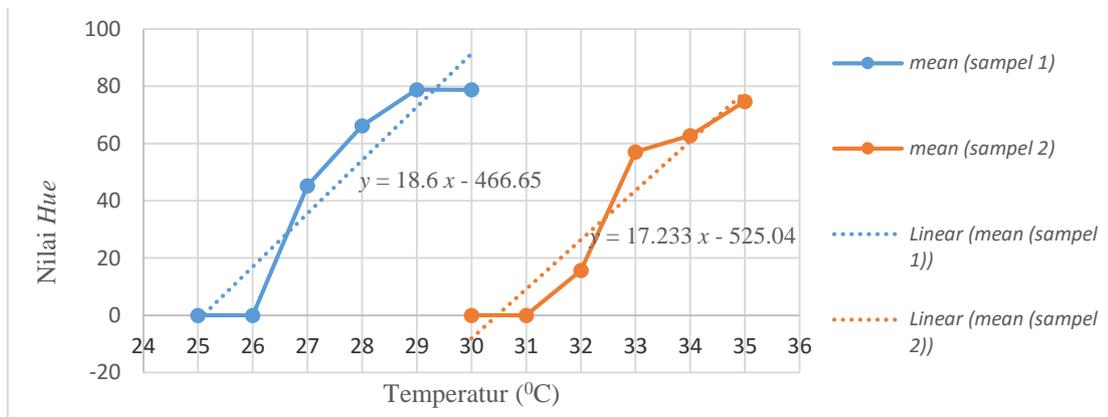
Citra asli yang ditangkap *scanner* diproses menggunakan *Matlab2007a* berdasarkan operasi morfologi matematika. Citra asli bertipe RGB dikonversi menjadi HSV (*hue, saturation, value*) dengan mengambil citra *hue* saja. Dari keseluruhan proses pengolahan citra yang dilakukan, diperoleh serangkaian nilai statistik *hue* berupa nilai maksimum, minimum, rata-rata, median, standar deviasi, modus, dan entropi (Tabel 2.3).

Tabel 2.3 Nilai statistik hue citra permukaan TLC pada proses kalibrasi^[8]

T (°C)	nilai statistik hue						
	maksimum	minimum	rata-rata	median	standar deviasi	modus	entropi
25	58,503	42,889	47,004	45,378	0,3586	44,444	46,806
26	61,111	47,701	52,277	51,422	0,2976	50,000	46,541
27	62,500	46,189	48,413	47,927	0,1492	50,000	37,751
28	83,333	50,365	54,575	54,700	0,0898	55,556	33,406
29	86,667	46,241	53,744	54,464	0,2246	55,556	43,601
30	96,032	47,124	56,518	57,310	0,2585	58,333	45,366

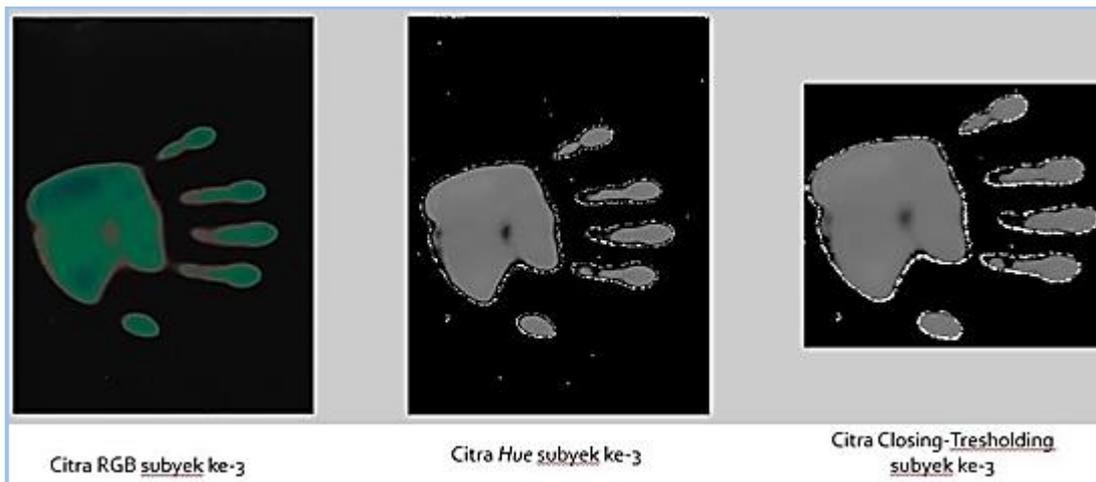
Dari ketujuh nilai statistik *hue* yang diperoleh, disimpulkan bahwa nilai modus *hue* paling baik dalam menunjukkan hubungan yang linear antara nilai *hue* dengan temperatur permukaan TLC. Hasil tersebut digunakan selanjutnya untuk menentukan temperatur telapak tangan yang menyentuh lembar TLC.

Penelitian serupa dikembangkan Suryantari dan Flaviana, 2015 untuk mengamati linearisasi nilai *hue* pada permukaan TLC terhadap variasi temperatur. Lembar TLC yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel 1 dengan rentang temperatur (25-30)°C dan sampel 2 dengan rentang temperatur (30-35)°C. Berdasarkan nilai *mean hue* (Gambar 2.8), kedua sampel TLC menunjukkan kecenderungan hubungan linearitas yang sama^[18].



Gambar 2.8 Grafik nilai statistik mean hue pada sampel 1 dan sampel 2^[18]

Pada penelitian selanjutnya, Flaviana dan Suryantari, 2015 melakukan teknik termografi serta pengolahan citra serupa terhadap sejumlah subyek ($n = 5$) yaitu telapak tangan manusia menggunakan lembar TLC dengan rentang temperatur 30°C-35°C yang mendekati rata-rata temperatur telapak tangan. Gambar 2.9 menunjukkan masing-masing citra RGB, citra *hue*, serta citra hasil pengolahan berdasarkan morfologi matematika pada subyek ke-3. Pada citra hasil pengolahan menggunakan operasi morfologi, terlihat kontras citra telapak tangan (berwarna abu-abu pada telapak dan jari-jari tangan, berwarna putih pada bagian tepi telapak maupun jari-jari tangan) dengan latar belakang yang berwarna hitam.



Gambar 2.9 Citra telapak tangan subyek ke-3 hasil pengolahan citra berdasarkan morfologi matematika[19]

Selanjutnya, hasil pengukuran temperatur terhadap kelima subyek yang diperoleh dari pengolahan serta analisis terhadap nilai statistik citra *hue* tersebut dibandingkan dengan pengukuran temperatur menggunakan sensor temperatur (Tabel 2.4).

Tabel 2.4 Nilai Temperatur rata-rata telapak tangan ($n = 5$) yang diperoleh dari pengolahan citra TLC dan dari penggunaan sensor temperatur

subyek ke-	Pengukuran menggunakan TLC		Pengukuran menggunakan Sensor Temperatur
	Nilai rata-rata <i>hue</i>	<i>Thue</i> (°C)	<i>T sensor</i> (°C)
1	0.32	31.857	32,37
2	0.34	32.143	35,1
3	0.45	33.714	33,01
4	0.33	32	30,35
5	0.38	32.714	33,47

2.2.3 Teknik Termografi III: Menggunakan Kamera Termal Inframerah (IR)^[6]

Penelitian yang dilakukan Mori, et.al., 2013, adalah teknik termografi menggunakan kamera termal IR pada sejumlah pasien diabetes. Penelitian tersebut difokuskan untuk membangun sistem klasifikasi baru, yaitu melakukan segmentasi citra telapak kaki pasien diabetes.

Studi observasi dilakukan pada grup normal/sehat yang terdiri dari 32 sukarelawan dan grup diabetes mellitus (DM) yang terdiri dari 129 pasien. Nilai *ankle brachial index* (ABI) dan *toe brachial index* (TBI) masing-masing pasien diukur terlebih dahulu. Hasil tes ABI dan TBI tersebut digunakan untuk memprediksi level penyakit arteri perifer pada kaki. Berikut tabel yang menunjukkan karakteristik kedua grup (Tabel 2.5).

Tabel 2.5 Karakteristik grup studi pasien dalam studi klinis^[6]

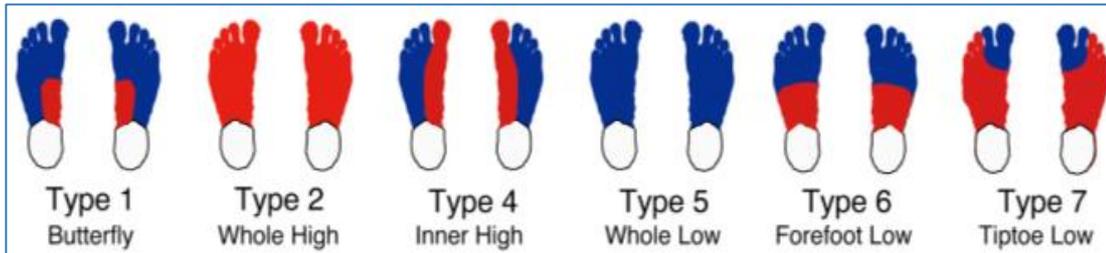
Parameter grup studi	Diabetes	Normal/sehat
Jumlah subyek (<i>n</i>)	129	32
Laki-laki/Perempuan	81/48	8/24
Usia (tahun; rata-rata \pm standar deviasi)	67,2 \pm 10,5	36,8 \pm 11,8

Lama menderita diabetes (tahun; rata-rata ± standar deviasi)	15,1 ± 9,6	-
Klasifikasi grup diabetes dengan resiko komplikasi kaki (n)	25,24 ± 3,77	-
Grup 0 (tanpa faktor resiko/neuropati)		
Grup 1 (dengan neuropati)	11	
Grup 2 (dengan neuropati dan penyakit vaskular)	84	
Grup 3 (dengan riwayat ulkus atau amputasi)	26	
	8	

Pada penelitian ini dikemukakan pula kesulitan dalam menginterpretasi pola termografi yang disebabkan oleh:

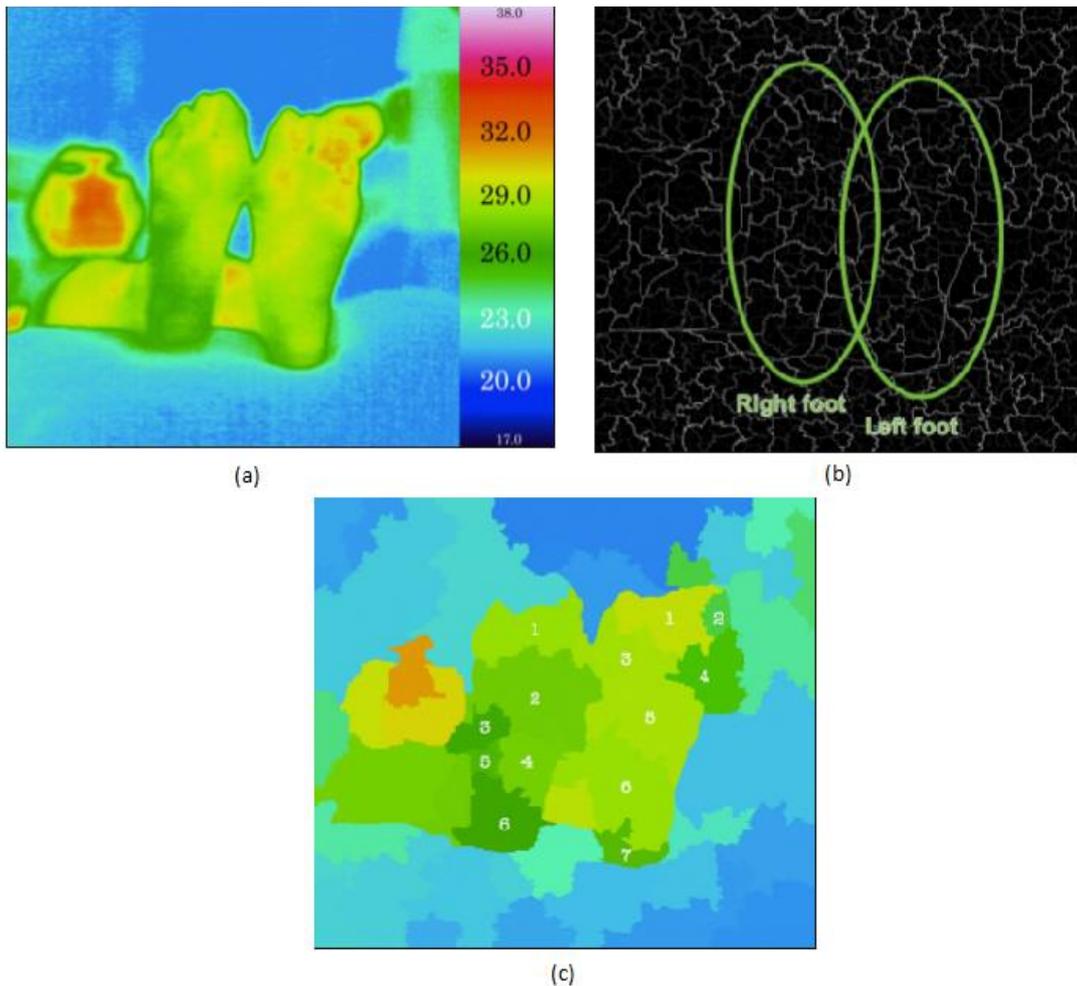
1. Kurangnya informasi yang cukup mengenai pola termografi bahkan pada subyek non-diabetes.
2. Kurangnya metode yang sesuai dalam mengklasifikasikan pola termografi telapak kaki, khususnya dihubungkan dengan anatomi vaskular dan kondisi sirkulasi darah di kaki.
3. Tidak ada cara obyektif dalam menentukan citra termografi.

Berdasarkan ketiga alasan di atas, penelitian Mori, et al., 2013 tersebut menggunakan metode klasifikasi pola termografi telapak kaki berdasarkan konsep *angiosome*. *Angiosome* menggambarkan tubuh manusia menjadi jaringan tubuh tiga dimensi yang bersumber dari pembuluh arteri dan vena tertentu. Variasi pola termografi telapak kaki ditunjukkan melalui Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Variasi pola termografi telapak kaki. (Warna merah mengindikasikan temperatur yang lebih tinggi, warna biru mengindikasikan temperatur yang lebih rendah)[6]

Citra telapak kaki yang diperoleh menggunakan kamera termal IR diolah melalui algoritma segmentasi dan menghasilkan citra olahan yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Hasil pengolahan dan pengklasifikasian (a) citra termografi pasien DM (b) proses segmentasi citra pasien DM (c) citra termografi yang tersegmentasi pada pasien DM[6].

Teknik pengolahan citra tersebut menghasilkan klasifikasi pola termografi telapak kaki sejumlah subyek yang ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Variasi pola termografi telapak kaki grup normal dan grup DM^[6]

		grup normal (n = 64)	grup DM (n = 258)
Tipe 1	<i>(butterfly)</i>	28	31
Tipe 2	<i>(whole high)</i>	12	118
Tipe 3	<i>(inverse butterfly)</i>	0	0
Tipe 4	<i>(inner high)</i>	2	18
Tipe 5	<i>(whole low)</i>	0	17
Tipe 6	<i>(forefoot low)</i>	5	11
Tipe 7	<i>(tiptoe low)</i>	0	3
<i>Atypical</i>	<i>(anomaly)</i>	17	60
Total		64	258

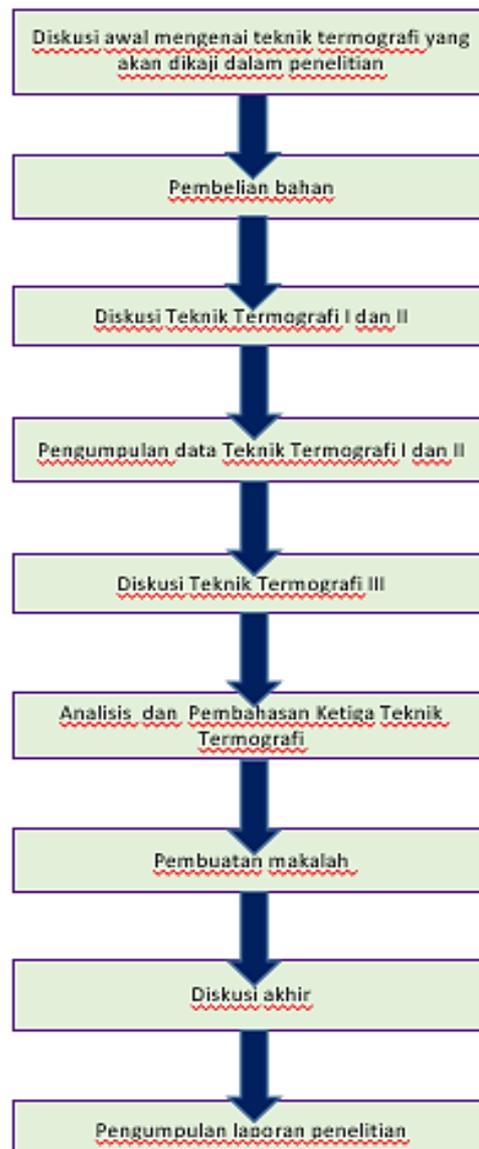
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

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

3.2 Tahapan Penelitian

Proses penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan yang ditunjukkan melalui diagram alir berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Rancangan Penelitian

Pendekatan-pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mengumpulkan informasi-informasi mengenai teknik termografi yang dikembangkan untuk aplikasi neuropati diabetik melalui sumber buku dan karya-karya ilmiah yang telah dipublikasikan selama 10 tahun terakhir.
2. Melakukan diskusi terjadwal dengan anggota peneliti untuk:
 - memilih teknik termografi utama yang dikembangkan akhir-akhir ini
 - melakukan *review* terhadap bahan-bahan penelitian teknik termografi yang telah dipilih peneliti

BAB IV JADWAL PELAKSANAAN

Berikut adalah rancangan jadwal pelaksanaan penelitian selama bulan Februari-
November 2015.

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

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelusuran pustaka yang berkaitan dengan penggunaan teknik termografi sebagai peluang untuk aplikasi penderita neuropati diabetik, dapat diklasifikasikan dua metode utama yang digunakan untuk mengukur distribusi temperatur. Metode pertama menggunakan sistem kamera termal IR dan yang kedua menggunakan *Liquid Crystal Thermography* (LCT). Masing-masing metode telah dibahas pada Bab II meliputi penjelasan singkat mengenai metode yang digunakan, teknik pengambilan citra, teknik pengolahan citra, dan peluang untuk aplikasi medis. Pada Tabel 5.1 berisi rangkuman ketiga jenis penelitian yang terkait dengan teknik termografi untuk aplikasi penderita neuropati diabetik. Rangkuman tersebut mendeskripsikan mengenai peneliti, teknik termografi yang dikembangkan oleh peneliti, deskripsi singkat metode penelitian, serta keluaran yang dicapai dari hasil penelitian.

Tabel 5.1 Macam-macam penelitian teknik termografi yang dikembangkan untuk aplikasi penderita neuropati diabetik

Peneliti (Tahun publikasi, lokasi)	Teknik Termografi yang dikembangkan	Deskripsi	Keluaran yang dicapai
Bharara (2007, Inggris)	Sistem <i>platform</i> berbasis TLC untuk aplikasi penderita neuropati diabetik.	<ul style="list-style-type: none"> • Pengambilan citra telapak kaki menggunakan kamera digital • Melakukan kalibrasi terlebih dahulu terhadap TLC R25C5W, R25C10W, R25C15W • Menggunakan perangkat lunak <i>Matlab</i> • Pengambilan data dilakukan pada 28 pasien grup 1, 23 pasien grup 0, dan 30 orang grup normal • Pengambilan citra masing-masing subyek pada tes awal dilakukan selama $t = 5$ menit • Citra telapak kaki yang diamati adalah pada bagian tumit dan pangkal 	<ul style="list-style-type: none"> • Hasil kalibrasi TLC menunjukkan hubungan yang cukup linear antara nilai <i>hue</i> dan temperatur (Gambar 2.3) • Nilai \bar{T} telapak kaki grup normal selalu berada di bawah grup 0 dan grup 1, baik pada bagian tumit maupun bagian pangkal metatarsal kedua • \bar{T} awal tumit kaki grup normal, grup 0, grup 1 secara berturut adalah 26, 0°C; (26,0 – 26,5)°C; (26,5 – 27,0)°C. • \bar{T} awal pangkal metatarsal kedua grup normal, grup 0, grup 1 secara berturut adalah 26, 0°C; (26,5 – 27,0)°C; (26,5 – 27,0)°C. • Selama 100 detik pertama, \bar{T} bagian tumit pada grup normal, grup 0, dan grup 1 menunjukkan kenaikan temperatur kira-kira sebesar 1°C sedangkan pada pangkal metatarsal kedua terlihat kenaikan temperatur kira-kira sebesar 1,5°C. (Gambar 2.4 dan 2.5)

		metatarsal kedua (pangkal telunjuk)	
Flaviana (2012, Indonesia)	Karakterisasi TLC untuk pengukuran distribusi temperatur berbasis operasi morfologi matematika pada citra <i>hue</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pengambilan citra menggunakan <i>scanner</i> • Dilakukan kalibrasi TLC R25C5W menggunakan permukaan dasar wadah labu Erlenmeyer 	<ul style="list-style-type: none"> • Diperoleh hubungan yang cukup linear antara nilai <i>hue</i> TLC R25C5W dengan temperatur (Tabel 2.3)
Flaviana dan Suryantari (2015, Indonesia)	Peluasan rentang temperatur TLC R30C5W	<ul style="list-style-type: none"> • Pengambilan citra menggunakan <i>scanner</i> • Dilakukan kalibrasi TLC R30C5W menggunakan permukaan dasar wadah labu Erlenmeyer • Pengambilan citra telapak tangan dilakukan pada lima orang grup normal 	<ul style="list-style-type: none"> • Diperoleh hubungan yang cukup linear antara nilai <i>hue</i> TLC R30C5W dengan temperatur • \bar{T} telapak tangan grup normal 31,86 – 33,71°C (Tabel 2.4)
Suryantari dan Flaviana (2015, Indonesia)	Linearisasi nilai <i>hue</i> TLC terhadap variasi temperatur	<ul style="list-style-type: none"> • Pengambilan citra menggunakan <i>scanner</i> • Menggunakan perangkat lunak <i>Matlab</i> • Dilakukan linearisasi citra <i>hue</i> TLC R25C5W dan R30C5W 	<ul style="list-style-type: none"> • Diperoleh hubungan yang cukup linear antara nilai <i>hue</i> TLC R25C5W dengan temperatur • Diperoleh hubungan yang cukup linear antara nilai <i>hue</i> TLC R30C5W dengan temperatur (Gambar 2.8)
Mori, et al., (2013, Jepang)	Termografi telapak kaki pasien diabetes menggunakan sistem klasifikasi pola morfologi	<ul style="list-style-type: none"> • Pengambilan citra menggunakan kamera termal IR • Menggunakan perangkat lunak <i>Matlab</i> • Pengambilan citra dilakukan pada telapak kaki grup normal berjumlah 32 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem klasifikasi pola termografi telapak kaki yang baru, berbasis komputer, dan obyektif berhasil direalisasikan • Pada grup normal, diperoleh lebih dari 62% pola termografi telapak kaki tergolong ke dalam dua tipe (Gambar 2.10 dan Tabel 2.6) • Pada grup DM, diperoleh 77% pola termografi telapak kaki tergolong ke dalam enam tipe (Gambar 2.10 dan Tabel 2.6)

		<p>orang, grup 0 sebanyak 11 orang, grup 1 sebanyak 84 orang, grup 2 sebanyak 26 orang, grup 3 sebanyak 8 orang</p> <ul style="list-style-type: none"> • Secara keseluruhan, telapak kaki semua grup dikelompokkan ke dalam 7 tipe 	
<p>\bar{T} = temperatur rata-rata Pasien grup diabetes (DM) Grup 0 (tanpa faktor resiko/neuropati) Grup 1 (dengan neuropati) Grup 2 (dengan neuropati dan penyakit vaskular) Grup 3 (dengan riwayat ulkus atau amputasi)</p>			

Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat ada atau tidaknya perubahan sifat termal pada grup pasien DM bila dibandingkan dengan grup normal. Dari kedua penelitian yang telah melalui pengujian klinis (Bhararara, 2007 dan Mori et al., 2013), dapat diidentifikasi dan dimonitorisasi adanya pengaruh dalam dinamika sifat termal kulit manusia khususnya pasien DM dengan neuropati yang mengalami perubahan metabolisme dan suplai darah pada sel-sel sarafnya. Ketidaknormalan aliran darah yang terjadi pada sel-sel saraf mungkin mengakibatkan terjadinya kenaikan temperatur di bawah permukaan kulit khususnya di bagian tubuh bawah atau perifer (kaki atau tangan).

Pengembangan kedua metode (kamera termal IR dan LCT) dalam teknik termografi tentunya memiliki masing-masing keunggulan dan kelemahan. Kamera termal IR yang digunakan dalam teknik termografi memang memiliki kualitas citra dan resolusi temperatur yang sangat baik, namun biayanya tergolong mahal. Sebaliknya biaya yang dikeluarkan untuk penggunaan LCT jauh lebih murah dibandingkan kamera termal, tetapi resolusi termalnya cukup rendah. Oleh sebab itu, teknik termografi dengan menggunakan LCT perlu dilengkapi dengan teknik pengolahan citra yang lebih akurat.

Selain merangkum jenis teknik termografi yang dibahas sebelumnya, dipandang perlu untuk menjabarkan teknik pengolahan citra yang digunakan baik dalam sistem kamera termal IR maupun LCT. Teknik pengolahan citra tersebut perlu dikembangkan agar mampu mengevaluasi studi kasus grup normal maupun grup DM secara independen.

Tabel 5.2 Teknik pengolahan citra yang digunakan untuk aplikasi penderita neuropati diabetik

Peneliti (Tahun publikasi, lokasi)	Teknik Pengolahan Citra	Deskripsi
Bharara (2007, Inggris)	<ul style="list-style-type: none"> • Konversi citra RGB menjadi citra <i>hue</i> • Analisis citra <i>hue</i> menggunakan nilai rata-rata <i>hue</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengolahan citra <i>hue</i> pada proses kalibrasi untuk memperoleh hubungan antara nilai <i>hue</i> dengan temperatur • Korelasi <i>hue</i>-temperatur yang telah diperoleh melalui proses kalibrasi digunakan sebagai dasar dalam menentukan nilai temperatur telapak kaki semua grup

<p>Flaviana (2012, Indonesia) Flaviana dan Suryantari (2015, Indonesia)</p> <p>Suryantari dan Flaviana (2015, Indonesia)</p>	<p>Berbasis operasi morfologi matematika</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Konversi citra RGB menjadi citra <i>hue</i> • Pengolahan citra <i>hue</i> pada proses kalibrasi untuk memperoleh hubungan antara nilai <i>hue</i> dengan temperatur • Analisis citra <i>hue</i> menggunakan nilai statistik (maksimum, minimum, rata-rata, modus) <i>hue</i> • Diperoleh nilai <i>modus hue</i> yang menunjukkan linearitas paling baik dengan temperatur
<p>Mori, et al., (2013, Jepang)</p>	<p>Sistem klasifikasi pola morfologi menggunakan segmentasi citra</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Citra-citra yang diperoleh dikelompokkan ke dalam 7 tipe berdasarkan pola morfologi

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Kedua metode utama dalam teknik termografi, baik menggunakan kamera termal IR maupun LCT, dapat digunakan untuk menentukan nilai temperatur rata-rata dan/atau distribusi temperatur telapak tangan serta telapak kaki manusia.
2. Kamera termal IR yang digunakan dalam teknik termografi memiliki kualitas citra dan resolusi temperatur yang sangat baik, namun biayanya tergolong mahal. Sebaliknya biaya yang dikeluarkan untuk penggunaan LCT jauh lebih murah dibandingkan kamera termal, tetapi resolusi termalnya cukup rendah.
3. Metode kamera termal IR dan LCT yang masing-masing dilengkapi dengan teknik pengolahan citra mampu mengidentifikasi dan memonitorisasi adanya pengaruh sifat termal kulit manusia, khususnya untuk pasien DM.

6.2 Saran

1. Penggunaan LCT memerlukan teknik pengolahan citra yang semakin jelas dan akurat, misalnya dengan melakukan pemetaan distribusi temperatur.
2. Perlunya subyek dalam jumlah yang cukup besar untuk pengambilan data, terutama grup DM.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kementrian Kesehatan Republik Indonesia.
(<http://www.depkes.go.id/article/view/414/tahun-2030-prevalensi-diabetes-melitus-di-indonesia-mencapai-213-juta-orang.html>), diakses pada 30 Januari 2015
2. Wild, SH, Roglic G, Green A, Sicree R, King H (2004). *Global Prevalence of Diabetes: Estimates for the year 2000 and projections for 2030*. *Diabetes Care* 27(10):2569.
3. *International Diabetes Federation Western Pacific*.
(<http://www.idf.org/membership/wp/indonesia>), diakses pada 30 Januari 2015
4. Cornblath, David R (2004). *Diabetic Neuropathy: Diagnostic Methods*. *Advanced Studies in Medicine*, Vol. 4 (8A).
5. Houghton, Vanessa J., et al. (2013) *Is an increase in skin temperature predictive of neuropathic foot ulceration in people with diabetes? A systematic review and meta-analysis*. *Journal of Foot and Ankle Research* 2013, 6:31
6. 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
7. Bharara, Manish (2007). *Liquid Crystal Thermography in Neuropathic Assesment of Diabetic Foot*, PhD Thesis, Bournemouth University.
8. Flaviana (2012). Master Tesis: Karakterisasi *Thermochromic Liquid Crystal* dalam Pengukuran Distribusi Temperatur Berbasis *Mathematical Morphology* pada Citra Hue. Institut Teknologi Bandung.
9. Soewondo, P., et al. (2013). *Challenges in Diabetes Management in Indonesia: Literature Review*. *Globalization and Health* 2013 9:63.
10. Kementrian Kesehatan Republik Indonesia: Profil Kesehatan Indonesia 2013.
(<http://www.depkes.go.id/resources/download/pusdatin/profil-kesehatan-indonesia/profil-kesehatan-indonesia-2013.pdf>), diakses pada 30 Januari 2015
11. National Heart, Lung, and Blood Institute.
(<http://www.nhlbi.nih.gov/studies/clinicaltrials>), diakses pada 30 Januari 2015
12. Sudoyo, Aru W., et.al. (2006) Buku Ajar Penyakit Dalam. Pusat Penerbitan Ilmu Penyakit Dalam FKUI, Jakarta.
13. Boulton, A., Connor, H. and Cavanagh, P. R., Eds. (1998). *The Foot in Diabetes*, John Wiley & Sons.

14. 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
15. Wollina, Uwe (2009). *Thermal and Mechanical Skin Injuries*. *CME Dermatol* 4(1), 4-18.
16. 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.
17. 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

