

Perjanjian No: III/LPPM/2015-02/37-P

**SISTEM PENGUKURAN DISTRIBUSI TEMPERATUR PERMUKAAN  
MENGUNAKAN *THERMOCHROMIC LIQUID CRYSTAL***



**Disusun Oleh:**

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

**Pembina:**

Dr. Aloysius Rusli

**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat  
Universitas Katolik Parahyangan  
2015**

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
DAFTAR ISI	ii
ABSTRAK	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Tujuan	2
I.4 Manfaat	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	3
II.1 <i>Cholesteric Liquid Crystal</i>	3
II.2 <i>Thermochromic Liquid Crystal (TLC)</i>	5
II.3 Metode Pengolahan Citra Berbasis Morfologi Matematika	7
II.4 Aplikasi TLC pada Bidang Medis	12
BAB III. METODE PENELITIAN	14
III.1 Tahapan penelitian	14
III.2 Lokasi penelitian	15
III.3 Rancangan Penelitian	15
III.3.1 Alat dan Bahan	15
III.3.2 Prosedur Penelitian	16
III.4 Teknik Pengolahan Citra	17
BAB IV. JADWAL PELAKSANAAN	18
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
V.1 Kalibrasi	19
V.2 Pengukuran Temperatur Rata-Rata Telapak Tangan Manusia	21
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	26
VI.1 Kesimpulan	26
VI. 2 Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	27
Lampiran	28

## **ABSTRAK**

*Thermochromic Liquid Crystal (TLC)* memiliki respon terhadap perubahan temperatur lokal yang ditunjukkan dengan perubahan warna. *TLC* dapat dimanfaatkan untuk mengetahui distribusi temperatur pada bagian tubuh tertentu pada manusia yang sulit dilakukan oleh termometer analog maupun digital. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan temperatur rata-rata permukaan tangan menggunakan *TLC* berdasarkan data statistik citra *hue* serta mengetahui hubungan citra *hue* permukaan tangan dengan kondisi kesehatan tubuh subyek dengan metode pengambilan data dan pengolahan citra yang lebih baik, dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Data statistik nilai *hue* citra akhir permukaan *TLC* pada tahapan kalibrasi akan dijadikan basis data untuk dapat dibandingkan dengan citra permukaan tangan, kemudian dapat ditentukan temperatur rata-rata permukaan tangan tersebut dengan tingkat ketelitian yang lebih baik.

Kata kunci: Temperatur, *Thermochromic Liquid Crystal (TLC)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Susunan molekul pada (a) padatan (b) kristal cair, dan (c) cairan	3
Gambar 2.2. Molekul kristal cair (a) <i>nematic</i> (b) <i>smectic A</i> (c) <i>smectic C</i> , dan (d) <i>cholesteric</i>	4
Gambar 2.3. Susunan molekul kristal cair <i>cholesteric</i>	5
Gambar 2.4. Grafik hubungan antara panjang gelombang cahaya terhadap perubahan temperatur (Hallcrest, 1991)	6
Gambar 2.5. Grafik nilai <i>hue</i> terhadap temperatur pada material <i>TLC</i> (Bharara, 2007)	7
Gambar 2.6. Proses dilasi pada citra biner (Matlab, 2013)	8
Gambar 2.7. <i>SE Line</i> (Matlab, 2013)	9
Gambar 2.8. Keseluruhan tahapan kalibrasi (Suryantari dan Flaviana, 2015)	10
Gambar 2.9. Grafik nilai mean <i>hue</i> pada sampel 1 dan sampel 2 (Suryantari dan Flaviana, 2015)	11
Gambar 2.10. Keseluruhan skema perancangan sistem pemrosesan citra telapak tangan subyek (Flaviana dan Suryantari, 2015)	11
Gambar 2.11. Citra telapak tangan manusia normal menggunakan kamera <i>FLIR</i>	12
Gambar 2.12. Citra telapak tangan subyek dengan penyakit diabetes menggunakan kamera termal (Ring, 2010)	13
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	14
Gambar 3.2. <i>Set up</i> alat dan bahan	15
Gambar 3.3. Cara pengambilan data telapak tangan subyek menggunakan <i>TLC</i> dan <i>Scanner</i>	17
Gambar 3.3. Tahapan pengolahan citra	17
Gambar 5.1. Citra permukaan <i>TLC</i> menggunakan labu erlenmeyer diisi air, pada temperatur 27°C	19
Gambar 5.2. Grafik hubungan temperatur terhadap nilai statistik <i>hue</i>	21
Gambar 5.3. Citra permukaan tangan salah satu subyek pada <i>TLC</i> 25-30 °C	22
Gambar 5.4. Distribusi nilai statistik <i>hue</i> telapak tangan sejumlah subyek	23
Gambar 5.5. Grafik fungsi logaritma hubungan temperatur terhadap nilai <i>mean hue</i> , dan sebaran data nilai <i>mean hue</i> sejumlah subyek	23

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Jadwal pelaksanaan penelitian	18
Tabel 5.1. Nilai <i>hue citra</i> permukaan TLC pada proses kalibrasi	20
Tabel 5.2. Nilai <i>hue</i> telapak tangan pada permukaan TLC 25-30 °C	22
Tabel 5.3. Nilai temperatur rata-rata telapak tangan sejumlah subyek berdasarkan nilai <i>mean citra hue</i>	24

# BAB I. PENDAHULUAN

## I.1 Latar Belakang

Temperatur merupakan salah satu parameter penting yang dapat merepresentasikan kondisi kesehatan tubuh manusia. Jika temperatur di suatu area permukaan tubuh lebih tinggi atau lebih rendah dari area lain secara tidak normal, maka dapat diperkirakan adanya masalah atau penyakit tertentu. Distribusi temperatur permukaan yang bervariasi dapat disebabkan karena faktor eksternal dan internal. Faktor internal yang berpengaruh antara lain metabolisme tubuh, serta aktivitas jaringan yang dekat dengan kulit.

Metode diagnosa yang didasarkan pada perbedaan temperatur antar jaringan tubuh manusia dalam bentuk citra atau gambar termal, disebut termografi. Penyakit yang dapat didiagnosa dengan metode ini misalnya *carcinoma mammae* (kanker payudara), *vascular disease* (penyakit pembuluh darah), diabetes, *arthritis* akut, *patello femoral pain* (nyeri pada persendian lutut), dan *primary erythralgia*. Perkembangan metode termografi tidak hanya terbatas pada pengukuran temperatur permukaan tubuh manusia, namun juga dapat dimanfaatkan dalam memahami fenomena termal seperti perpindahan kalor pada tubuh manusia (Gabriel, J.F, 1996).

Beberapa teknik dalam pengambilan gambar permukaan tubuh yang cukup populer adalah dengan menggunakan kamera termal atau kamera infra merah. Perkembangan teknik lainnya adalah dengan menggunakan lembaran *Thermochromic Liquid Crystal (TLC)* (Sarhani, dkk, 2010). Pengambilan gambar menggunakan lembaran TLC dapat menjadi relatif lebih murah dibandingkan dengan menggunakan kamera termal atau infra merah (Flaviana, 2012).

TLC memiliki respon terhadap perubahan temperatur lokal yang ditunjukkan dengan perubahan warna. Pada TLC digunakan bahan utama berjenis kristal cair *cholesteric* dengan struktur molekul bentuk pilinan (*twist*) yang memiliki respon optis yang baik (Chandrasekhar, 1992). Perubahan warna (*color play*) terjadi bila pada permukaan *TLC* mengalami kontak dengan suatu benda, dalam rentang temperatur tertentu yang diijinkan oleh bahan tersebut. Bila suatu benda disentuhkan pada permukaan *TLC*, maka dapat diamati distribusi temperaturnya pada setiap bagian dari benda tersebut (Hallcrest, 1991).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Suryantari dan Flaviana, telah diamati citra permukaan *TLC* pada rentang temperatur 25-30 °C dan 30-35 °C, dengan menggunakan labu erlenmayer yang diisi air pada temperatur tertentu, dan metode pengolahan citra berbasis morfologi matematika. Hasil penelitian menunjukkan hubungan nilai statistik *hue* terhadap temperatur, dimana kedua sampel menunjukkan kecenderungan hubungan linearitas yang sama. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai alternatif metode kalibrasi. Pada penelitian selanjutnya

(Flaviana dan Suryantari, 2015), telah diterapkan sistem pengukuran distribusi temperatur menggunakan *TLC* pada sejumlah subyek telapak tangan manusia untuk rentang temperatur 30-35 °C, dengan mengambil nilai statistik *hue* sebagai parameter, melalui operasi morfologi matematika yang lebih sederhana.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengembangan metode pengukuran distribusi temperatur rata-rata telapak tangan subyek dalam kondisi sehat, dengan menggunakan *TLC* 25-30 °C, berbasis morfologi matematika. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, temperatur rata-rata telapak tangan dapat ditentukan berdasarkan nilai statistik citra *hue* (Flaviana dan Suryantari, 2015). Dengan mengetahui temperatur rata-rata telapak tangan subyek dalam kondisi sehat, maka dapat diduga adanya masalah kesehatan pada subyek yang mengalami perbedaan ekstrim dengan hasil tersebut.

## **I.2 Perumusan Masalah**

1. Bagaimana cara menentukan temperatur rata-rata telapak tangan menggunakan *TLC* berdasarkan data statistik citra *hue* berbasis morfologi matematika?
2. Berapa nilai statistik citra *hue* dan temperatur rata-rata telapak tangan subyek dalam kondisi sehat?

## **I.3 Tujuan**

1. Menentukan temperatur rata-rata telapak tangan menggunakan *TLC* berdasarkan data statistik citra *hue* berbasis morfologi matematika.
2. Menunjukkan nilai statistik citra *hue* dan temperatur rata-rata telapak tangan subyek dalam kondisi sehat.

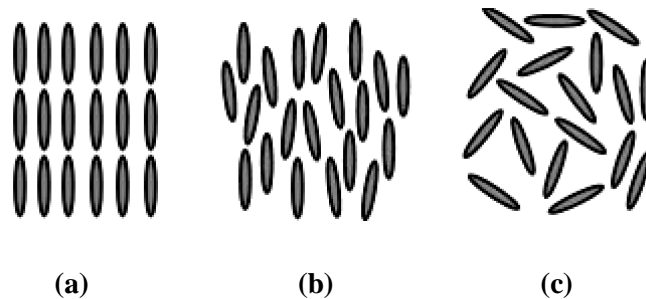
## **I.4 Manfaat**

Penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk diagnosa awal penderita diabetes melitus yang mengalami komplikasi kronis dengan gejala berupa ulkus atau borok yang tidak sembuh-sembuh pada telapak kaki atau tangan, dimana gejalanya diiringi dengan peningkatan atau penurunan temperatur yang ekstrim pada bagian tersebut. Dalam perkembangan selanjutnya, dimungkinkan dapat dibangun basis data sebagai referensi dalam menentukan temperatur permukaan tubuh manusia berdasarkan nilai statistik *hue* suatu citra, dengan teknik pengolahan citra yang lebih baik.

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 *Cholesteric Liquid Crystal*

Secara umum materi terbagi dalam 3 fase yaitu padat, cair, dan gas. Perbedaan dari ketiga fase ini terletak pada tingkat keteraturan molekulnya. Padatan memiliki keteraturan molekul yang lebih tinggi dibandingkan cairan dan gas. Pada transisi fase padat ke cair, molekul-molekul tersebut tetap mempertahankan ikatan antar molekulnya. Keadaan transisi fase tersebut dikenal dengan istilah mesofase, dan material pada keadaan mesofase disebut dengan *liquid crystal* atau kristal cair. Keteraturan molekul dari padatan, kristal cair, dan cairan ditunjukkan oleh Gambar 2.1 (Yang&Wu, 2006).



**Gambar 2.1.** Susunan molekul pada (a) padatan (b) kristal cair, dan (c) cairan

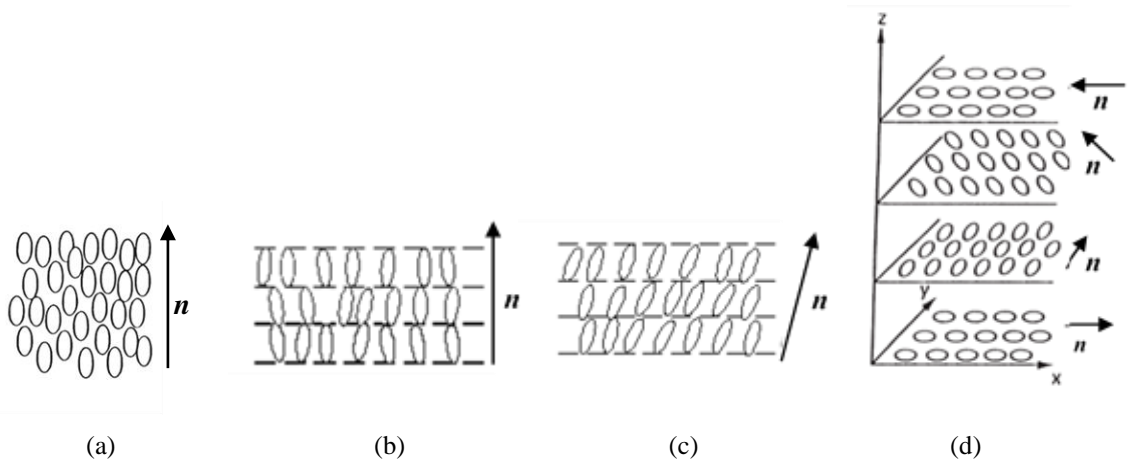
Molekul-molekul kristal cair memiliki kecenderungan arah seperti pada padatan, tetapi molekul-molekul tersebut dapat bergerak seperti pada cairan. Mobilitas molekul pada fase ini terbatas dan sedikit beraturan. Jika dilihat dari susunan arah molekulnya, kristal cair lebih mendekati ke fase padat, namun apabila dilihat dari susunan posisi molekulnya, kristal cair lebih mendekati ke fase cair (Chandrasekar, 1992).

Mesofase dapat terjadi karena perubahan temperatur, jenis materialnya disebut *Thermotropic Liquid Crystal*. Ketika temperatur dinaikkan, fase berubah dari padat menjadi kristal cair, dan jika temperaturnya dinaikkan lebih jauh lagi maka akan berubah menjadi cairan. Secara umum proses ini dapat dibalik dengan menurunkan temperaturnya. Mesofase juga dapat terjadi oleh adanya pelarut, jenis materialnya disebut *Lyotropic Liquid Crystal*. Kristal cair liotropik menunjukkan sifat kristal cair ketika bereaksi dengan zat pelarut khusus (Phillips, 2005).

Suatu zat mesomorfik dikarakterisasi berdasarkan tingkat keteraturan (*long order* atau *short order*), dan fungsi distribusi arah molekulnya. Kecenderungan penyearahan molekul disebut dengan *director (n)*. Berdasarkan derajat keteraturannya, kristal cair termotropik dibagi menjadi



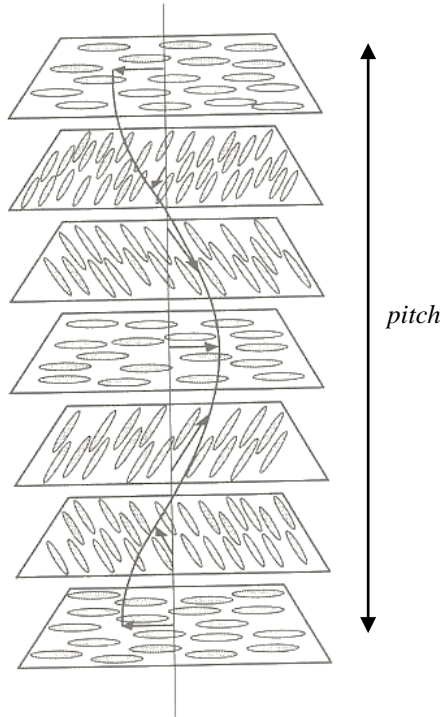
tiga jenis yaitu *nematic*, *cholesteric* dan *smectic*. Perbedaan ketiga jenis ini terletak pada bentuk susunan molekul, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Molekul kristal cair (a) *nematic* (b) *smectic A* (c) *smectic C*, dan (d) *cholesteric*

Kristal cair *cholesteric* memiliki struktur *helical* yang stabil dalam volume yang besar. Pada kristal cair *cholesteric*, molekul berjajar dalam lapisannya, arah gerak molekul sejajar dari satu bidang ke bidang lain. Setiap lapisan dalam stuktur *cholesteric* mempunyai arah molekul yang berbeda dengan lapisan di atas dan di bawahnya. Setelah beberapa lapisan, arah molekul akan berulang kembali. Sifat yang menonjol dari kristal cair *cholesteric* ialah jarak antara bidang-bidang yang mempunyai arah yang sama. Jika selaput tipis kristal cair *cholesteric* dikenai seberkas cahaya, sifat pantulan cahaya tergantung pada jarak ini. Jarak antara bidang dengan *director* yang sejajar disebut *pitch*, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Panjang gelombang cahaya yang dipantulkan akan berubah, seiring dengan berubahnya temperatur. Bila cahaya putih mengenai molekul ini, panjang gelombang cahaya yang sebanding dengan jarak *pitch* ini akan dipantulkan (Hallcrest, 1991).

Pada temperatur yang semakin rendah, jarak *pitch* semakin besar, cahaya yang dipantulkan semakin mendekati merah. Pada temperatur yang semakin besar molekul akan bergerak semakin cepat, dan lapisannya akan lebih terpilin (*twisted*), mengakibatkan jarak *pitch* semakin kecil, sehingga memantulkan cahaya dengan panjang gelombang yang lebih pendek (secara visual warna semakin ke biru) (Hallcrest, 1991).

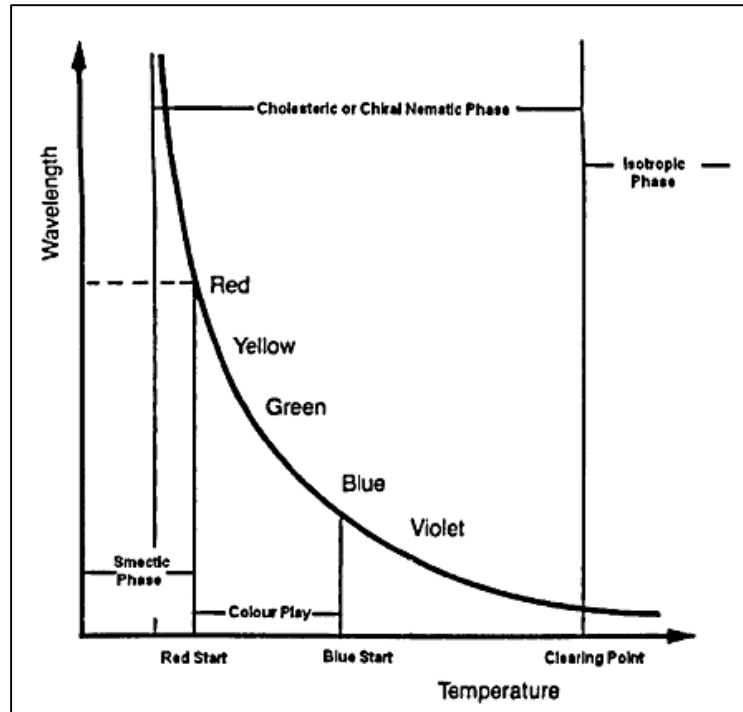


**Gambar 2.3.** Susunan molekul kristal cair *cholesteric*

## II.2 *Thermochromic Liquid Crystal (TLC)*

*Liquid crystal* 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.

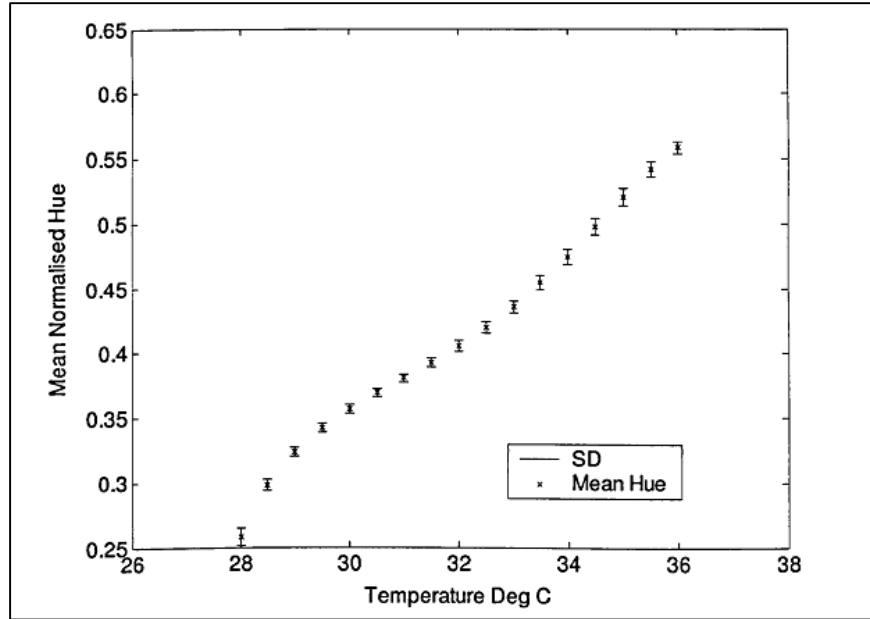
*TLC* memiliki respon terhadap perubahan temperatur lokal yang ditunjukkan dengan perubahan warna. *TLC* menunjukkan warna-warna tersebut secara selektif dengan memantulkan cahaya putih yang datang. *TLC* biasanya memiliki karakteristik dengan memunculkan salah satu warna (merah, kuning, hijau, biru atau ungu) yang bergantung pada panjang gelombang pantulan maksimum pada temperatur tertentu. Gambar 2.4 menunjukkan grafik hubungan antara panjang gelombang cahaya terhadap perubahan temperatur.



**Gambar 2.4.** Grafik hubungan antara panjang gelombang cahaya terhadap perubahan temperatur (Hallcrest, 1991)

*Color play* atau permainan warna pada *TLC* didefinisikan dengan spesifikasi warna tertentu, seperti *red start* atau *mid-green*. Sebagai contoh *TLC R35C1W* menggambarkan *TLC* dengan *red start* pada  $35^{\circ}\text{C}$ , dan *bandwidth*  $1^{\circ}\text{C}$ . *Clearing point* adalah rentang area temperatur dimana warna tidak muncul. Rentang temperatur untuk *TLC* yang tersedia adalah mendekati  $-30^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $115^{\circ}\text{C}$ . Di luar rentang temperatur yang diijinkan oleh bahan tersebut tersebut, seluruh cahaya akan diserap, dan permukaan *TLC* akan tampak hitam (Hallcrest, 1991).

Bharara, 2007, melakukan penelitian menggunakan menggunakan *TLC* dan kamera digital dalam mengakuisisi data, untuk mengukur distribusi temperatur pada subyek penderita *neuropati diabetic*, dengan menggunakan analisis pencitraan berbasis citra *hue*. Kalibrasi dilakukan dengan menempatkan *TLC* pada plat logam yang dapat diatur temperturnya. Dari penelitiannya, diperoleh hubungan antara nilai *hue* citra permukaan *TLC* dengan temperatur subyek yang menyentuhnya, ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Selain itu dikembangkan pula metode lain oleh Ammer et al., 2001, menggunakan *scanner* infra merah AGEMA 870, untuk mengamati hubungan antara perubahan kulit pada kaki penderita diabetes tipe II pada area dimana terjadi peningkatan temperatur pada permukaan kaki tersebut.



Gambar 2.5. Grafik nilai *hue* terhadap temperatur pada material *TLC* (Bharara, 2007)

### II.3 Metode Pengolahan Citra Berbasis Morfologi Matematika

Morfologi matematika (*mathematics morphology*) merupakan teknik pengolahan citra digital yang didasarkan pada bentuk segmen atau region di dalam citra. Karena proses morfologi difokuskan pada pengolahan bentuk obyek, maka operasi morfologi biasanya diterapkan pada citra biner. Metode pengolahan citra ini berbasis operasi tetangga *non-linear* (*nonlinear neighbourhood operation*). Tetangga tersebut sering disebut dengan *Structuring Element* (SE) (Gonzalles, 2002).

SE merupakan bagian yang memiliki peranan penting dalam operasi morfologi matematika. SE digunakan untuk memodifikasi citra masukan. SE merupakan sebuah matriks yang terdiri dari "0" dan "1", dan matriks-matriks tersebut memiliki sebuah ukuran dan bentuk tertentu. Pixel yang mempunyai nilai 1 mendefinisikan "tetangga". SE dua dimensi biasanya memiliki ukuran yang lebih kecil daripada citra yang akan diolah. Pixel pusat dari SE, mengidentifikasi *pixel of interest* dari pixel yang akan diolah. Berdasarkan bentuknya, jenis-jenis dari SE antara lain *Diamond*, *Rectangle/Square*, *Line*, *Octagon*, dan *Disk* (Matlab, 2013).

Operasi dasar dari morfologi matematika adalah dilasi dan erosi. Sebuah obyek citra biner *A* dapat direpresentasikan dalam bentuk himpunan dari posisi-posisi  $(x,y)$  yang bernilai 0 atau 1. Misalkan citra biner dapat digambarkan sebagai suatu himpunan piksel-piksel dalam bidang biner (dua dimensi)  $Z^2$ , yang terisi oleh himpunan *A* dari piksel-piksel pembentuk obyek. Dilasi citra *A* oleh SE *B* yang disimbolkan dengan  $\oplus B$ , dinyatakan oleh persamaan 2.1 (Gonzalles, 2002).

$$A \oplus B = \{z | [(\hat{B})_z \cap A] \subseteq A\} \quad 2.1$$

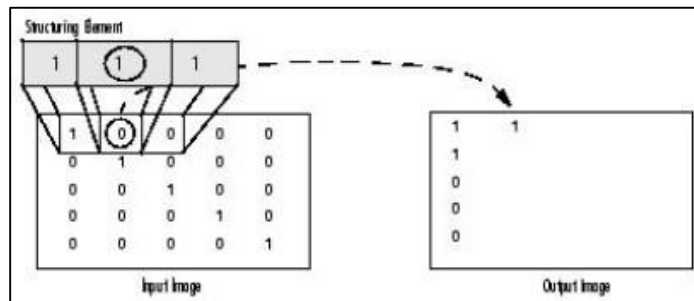
dimana  $\hat{B} = \{w | w = -b, b \in B\}$ , dan  $(\hat{B})_z = \{c | c = a + z, a \in \hat{B}\}$ .

Sedangkan erosi, yang disimbolkan dengan  $A \ominus B$ , dapat dinyatakan oleh persamaan 2.2.

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \quad 2.2$$

dimana  $(B)_z = \{c | c = a + z, a \in B\}$  (Gonzalles, 2002).

Operasi dilasi akan menambahkan piksel pada batas dari objek di sebuah citra, sedangkan erosi mengurangi piksel pada batas dari objek. Jumlah piksel yang ditambahkan atau dikurangkan tergantung dari besar dan bentuk dari SE yang digunakan untuk mengolah citra. Gambar 2.6 merepresentasikan proses dilasi sebuah citra biner. SE mengubah tetangga dari *pixel interest* (bagian yang dilingkari). Fungsi dilasi adalah membuat sebuah aturan kepada piksel tetangga, dan memberikan sebuah nilai yang dikorespondasikan kepada piksel di citra keluaran. Pada Gambar 2.6, proses dilasi memberikan nilai piksel citra keluaran dengan nilai "1" (nilai semula "0"), karena pada piksel tersebut berada pada daerah operasi SE yang digunakan.



**Gambar 2.6.** Proses dilasi pada citra biner (Matlab, 2013)

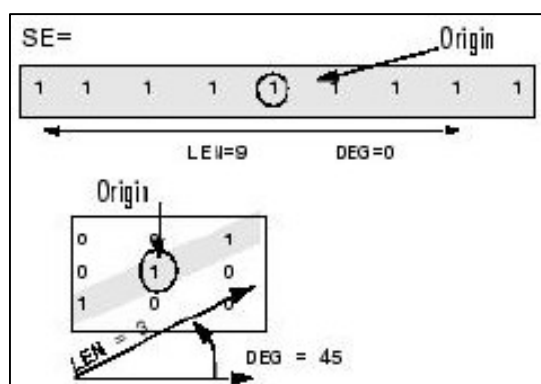
Terdapat 2 macam kombinasi dari operasi dilasi dan erosi, yaitu *opening* dan *closing*. Operasi *opening* merupakan operasi erosi yang dilanjutkan dengan dilasi, secara matematis didefinisikan oleh persamaan 2.3. Operasi ini akan menghilangkan "lubang" putih pada objek yang hitam.

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad 2.3$$

Operasi *closing* merupakan kombinasi antara operasi dilasi yang dilanjutkan dengan erosi, secara matematis didefinisikan oleh persamaan 2.4. Operasi ini akan menghilangkan "lubang" hitam pada permukaan putih

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad 2.4$$

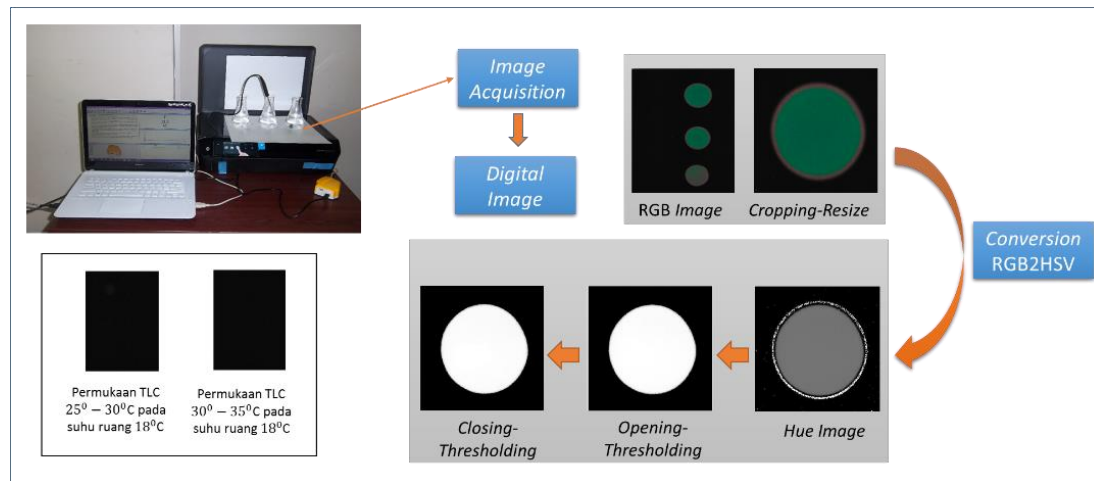
Flaviana (2012) melakukan penelitian untuk menentukan temperatur rata-rata telapak tangan manusia menggunakan *TLC*. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan wadah labu elenmeyer yang diisi air dan dipertahankan temperaturnya, diletakkan di atas permukaan *TLC*. Rentang temperatur *TLC* yang digunakan adalah 25-30 °C. Pengambilan citra menggunakan *scanner* dengan resolusi yang sama. Citra yang diperoleh kemudian diproses menggunakan *Matlab2007a* berdasarkan morfologi matematika, dengan menggunakan *SE line* (SE yang berbentuk garis datar dan linear). LEN merepresentasikan ukuran panjang, dan DEG merepresentasikan ukuran sudut (dalam derajat) yang diukur dari arah sumbu horisontal. LEN dapat diartikan jarak dari titik ujung SE ke ujung SE lainnya. Operasi morfologi dengan *SE line*, ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



**Gambar 2.7.** SE line (Matlab, 2013)

Dari keseluruhan pengolahan citra yang dilakukan, diperoleh nilai statistik *hue* yang terdiri dari nilai maksimum, minimum, *mean*, standar deviasi, dan modus. Tahapan selanjutnya adalah proses entropi pada citra dengan menggunakan fungsi entropi pada *Matlab2007a*, untuk mengukur nilai *randomness* dari citra. Hasil tersebut nantinya akan dijadikan acuan untuk mengukur distribusi temperatur permukaan tangan. Berdasarkan data statistik, diperoleh hubungan nilai *hue* terhadap variasi temperatur citra lingkaran, namun hasilnya kurang menunjukkan hubungan yang linear antara nilai *hue* terhadap temperatur. Untuk menghasilkan pengukuran distribusi temperatur telapak tangan yang akurat diperlukan standar pengukuran atau teknik kalibrasi yang lebih baik (Flaviana, 2002).

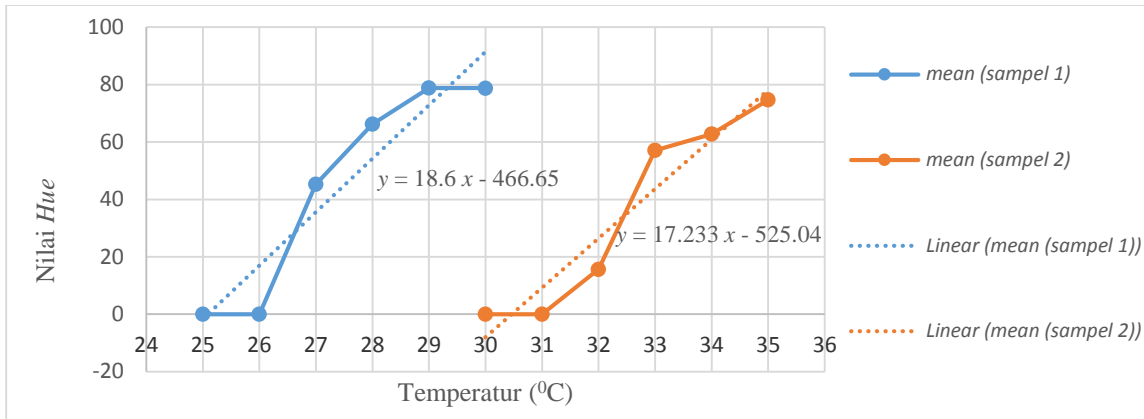
Penelitian selanjutnya dikembangkan dengan melakukan modifikasi pada proses pengolahan citra, dan teknik pengambilan data kalibrasi. Keseluruhan tahapan kalibrasi ditunjukkan oleh Gambar 2.8. Temperatur ruang diatur pada 18°C dengan tujuan mendapatkan warna dasar *TLC* yang sama (hitam) untuk *TLC* 25-30°C dan 30-35°C (Suryantari dan Flaviana, 2015).



**Gambar 2.8.** Keseluruhan tahapan kalibrasi (Suryantari dan Flaviana, 2015).

Dalam teknik pengolahan citra, digunakan proses utama *opening* dan *closing* dengan *SE line* pada citra *hue*. Pada tahapan awal, dilakukan 18 kali *opening* menggunakan *SE line* dengan ukuran LEN 50 dan variasi DEG untuk setiap 10 derajat, kemudian dilakukan penggabungan gambar untuk masing-masing hasil *opening* tersebut, diikuti *thresholding*. Tahapan selanjutnya adalah *closing* dengan cara yang sama, yaitu 18 kali *closing* dengan ukuran LEN 50 dan variasi DEG untuk setiap 10 derajat, kemudian dilakukan penggabungan gambar untuk masing-masing hasil *closing* tersebut, diikuti *thresholding*. Citra akhir hasil pengolahan citra dengan teknik ini menunjukkan kualitas citra yang semakin baik dilihat dari kontras citra utama (lingkaran terang) dengan latar belakang gelap. Berdasarkan analisis visual tampak bahwa terdapat perbedaan setiap citra untuk berbagai temperatur tersebut. Berdasarkan citra akhir tampak pula untuk setiap sampel, semakin besar temperaturnya maka semakin jelas pola lingkaran yang terbentuk dengan tingkat kecerahan yang semakin tinggi.

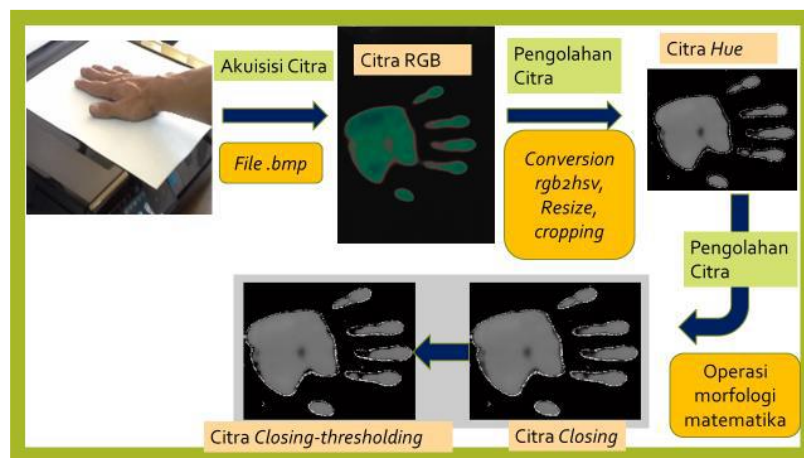
Secara kuantitatif citra akhir hasil pengolahan citra untuk setiap temperatur dapat dibedakan berdasarkan nilai statistiknya. Data nilai statistik, nilai *max* dan *mean* cukup baik dalam merepresentasikan perbedaan masing-masing citra. Dari hasil statistik kedua sampel, dipilih nilai *mean* sebagai parameter utama untuk membandingkan hasil dari kedua sampel tersebut. Berdasarkan grafik Gambar 2.9, dapat dilihat bahwa terdapat kecenderungan pola linearitas yang sama untuk kedua sampel.



**Gambar 2.9.** Grafik nilai *mean hue* pada sampel 1 dan sampel 2 (Suryantari dan Flaviana, 2015)

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat ditunjukkan bahwa kedua sampel ini memiliki pola *color play* (fase *red*, *green* dan *blue*) yang sama, sehingga sampel 1 dan 2 tidak dapat digunakan secara berkelanjutan dalam menentukan nilai temperatur permukaan suatu benda berdasarkan nilai *hue* yang diperoleh (Suryantari dan Flaviana, 2015).

Penelitian selanjutnya (Flaviana dan Suryantari, 2015) bertujuan untuk menerapkan sistem pengukuran distribusi temperatur berbasis TLC pada telapak tangan manusia, ditunjukkan oleh Gambar 2.10. Metode penelitian menggunakan sistem berbasis pada penelitian Flaviana tahun 2012, dan menggunakan teknik kalibrasi seperti pada penelitian Suryantari dan Flaviana tahun 2014. Pada penelitian ini digunakan operasi morfologi matematika yang lebih sederhana, yaitu dengan operasi utama *closing*, sehingga waktu pemrosesan data menjadi lebih singkat. Pada penelitian ini dapat ditunjukkan bahwa dengan proses *closing* saja sudah mampu menghasilkan citra yang cukup baik dan representatif.



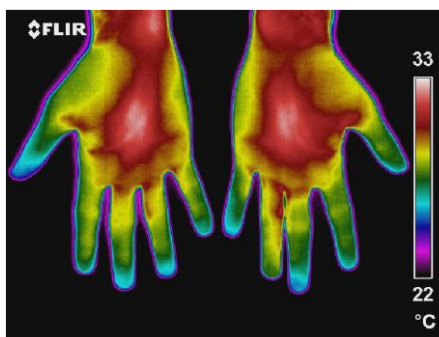
**Gambar 2.10.** Keseluruhan skema perancangan sistem pemrosesan citra telapak tangan subyek (Flaviana dan Suryantari, 2015)



Hasil penelitian menunjukkan hubungan 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. Hasil yang diperoleh menunjukkan belum adanya korelasi dari temperatur yang ditunjukkan oleh permukaan *TLC* dengan sensor temperatur (Flaviana dan Suryantari, 2015).

#### II.4 Aplikasi *TLC* pada Bidang Medis

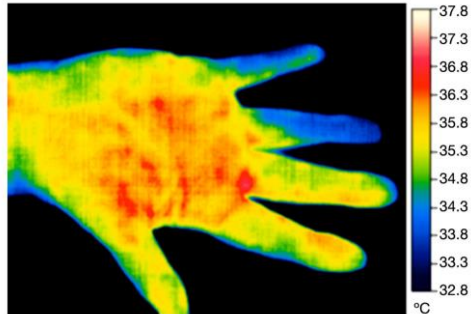
Temperatur merupakan salah satu parameter penting yang merepresentasikan kondisi kesehatan tubuh manusia. Jika temperatur di suatu area permukaan tubuh lebih tinggi atau lebih rendah dari area lain secara tidak normal, maka kondisi tersebut dapat diperkirakan memiliki masalah penyakit tertentu. Citra telapak tangan normal menggunakan kamera FLIR ditunjukkan oleh Gambar 2.11. Pada Gambar 2.11 dapat diamati adanya distribusi warna pada sejumlah area yang berbeda. Warna merah pada Gambar 2.11 menunjukkan area tersebut memiliki temperatur yang cukup tinggi. Hal tersebut dikarenakan bahwa pada area tersebut letaknya cukup dekat dengan pembuluh darah, sementara pada daerah yang temperaturnya rendah, misalnya ruas jari, letaknya cukup jauh dari pembuluh darah. Pada daerah tepi telapak tangan, temperaturnya paling rendah, karena pada daerah tersebut terjadi pertukaran kalor yang lebih cepat daripada area lain.



**Gambar 2.11.** Citra telapak tangan manusia normal menggunakan kamera FLIR (sumber gambar: [http://www.tendonology.com/tendon-treatment-documents/Biomedical\\_imaging-study.pdf](http://www.tendonology.com/tendon-treatment-documents/Biomedical_imaging-study.pdf).)

Ring (2010) menunjukkan hasil citra telapak tangan subyek yang memiliki penyakit diabetes, menggunakan kamera termal, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.12. Berdasarkan Gambar 2.12, tampak bahwa dominasi warna pada kuning-biru, sehingga dapat dikatakan bahwa temperatur

telapak tangan cukup rendah dibandingkan dengan Gambar 2.11. Temperatur ruas jari ke empat dan ke lima memiliki temperatur yang lebih rendah dibandingkan ruas jari lainnya.



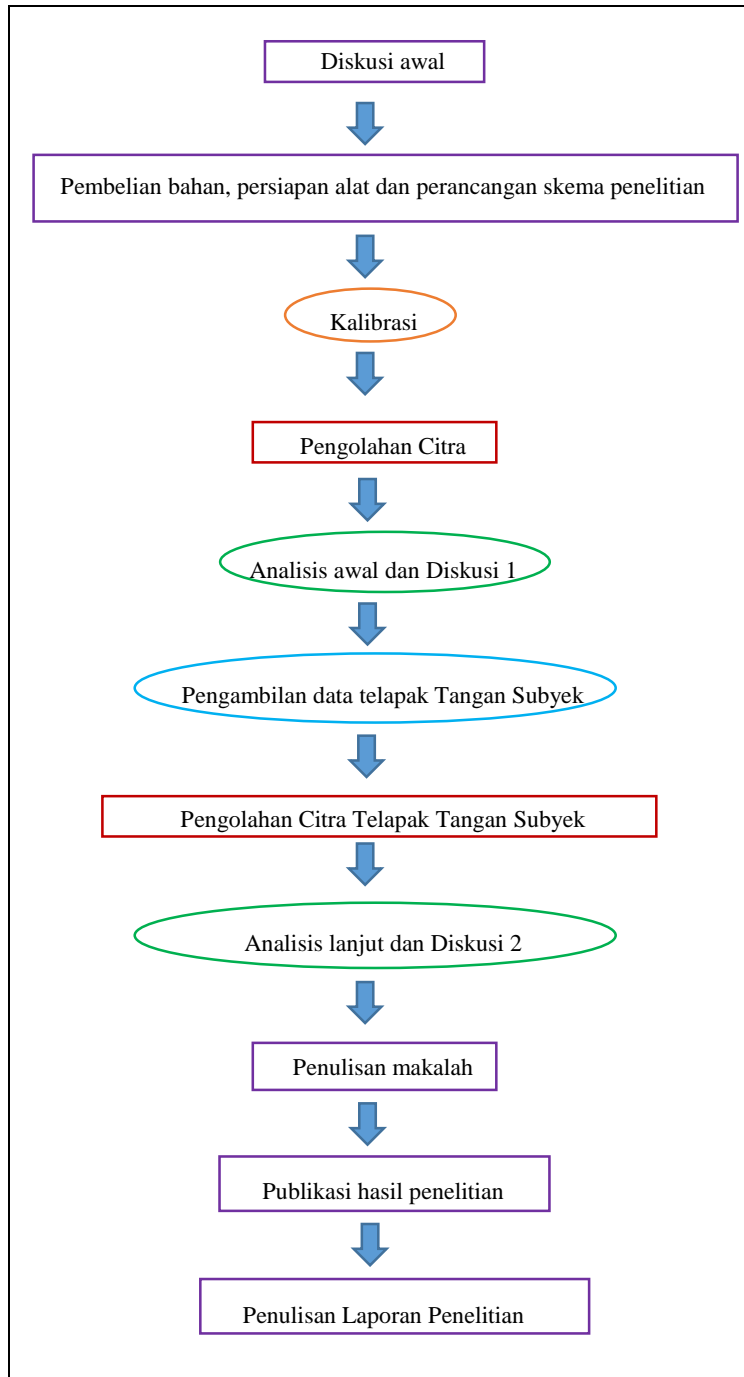
**Gambar 2.12.** Citra telapak tangan subyek dengan penyakit diabetes menggunakan kamera termal (Ring, 2010)

Citra telapak tangan subyek normal dan penderita diabetes menunjukkan distribusi temperatur yang berbeda cukup ekstrim. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar dugaan bahwa citra telapak tangan yang berbeda cukup ekstrim dengan Gambar 2.11, dapat mengindikasikan subyek mengalami gangguan kesehatan.

## BAB III. METODE PENELITIAN

### III.1 Tahapan penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan oleh diagram alir pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

## III.2 Lokasi penelitian

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

## III.3 Rancangan Penelitian

### III.3.1 Alat dan Bahan

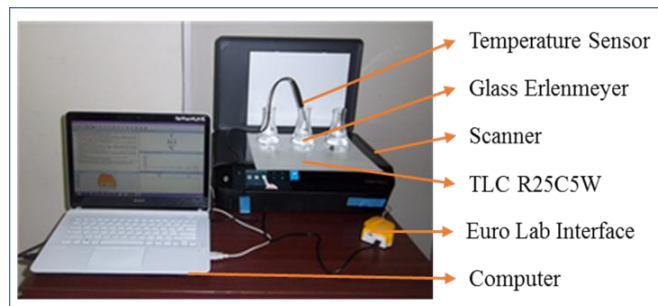
#### 1) Perangkat Keras

- a. Lembaran *Thermochromic Liquid Crystal (TLC)* ukuran 12 x 12 inch dengan rentang temperatur 25-30 °C.
- b. *Scanner* tipe HP 4510 dengan resolusi optik 300 dpi dan *bit depth 24-bit color*.
- c. Komputer dengan sistem operasi *Windows8*.
- d. Labu elenmeyer.
- e. Sensor temperatur dengan skala -20°-110°C.
- f. Air dan pemanas air.
- g. *Lightmeter* untuk mengukur intensitas cahaya rata-rata ruangan.

#### 2) Perangkat Lunak

- a. *Hp ToolBox* untuk akuisisi citra dari *scanner*.
- b. *CMA coach6lite* untuk pembacaan sensor temperatur.
- c. *Matlab2013a* untuk proses pengolahan citra dan analisis.

*Set up* alat dan bahan ditunjukkan oleh Gambar 3.2.



**Gambar 3.2.** *Set up* alat dan bahan

### III.3.2 Prosedur Penelitian

#### A. Kalibrasi

- 1) Temperatur ruang dan Intensitas cahaya ruang yang mengenai *TLC* diatur konstan.
- 2) Lembaran *TLC* 25-30 °C diletakkan di permukaan mesin *scanner*.
- 3) *Scanner* tersebut dikoneksikan ke komputer untuk proses akuisisi citra.
- 4) Labu elenmeyer diisi dengan air dan diatur temperaturnya konstan setiap 1°C dari 25°-30°C lalu diletakkan di atas lembaran *TLC*.
- 5) Sensor temperatur diletakkan di dalam labu elenmeyer yang telah diisi air, dan dikoneksikan dengan komputer yang telah diinstal program CMA *coach6lite*. Nilai temperatur rata-rata air dalam labu elenmeyer akan muncul pada layar komputer sehingga dapat dikontrol perubahan temperatur selama perekaman citra.
- 6) Setiap kali sensor temperatur menunjukkan angka yang sesuai, citra permukaan *TLC* direkam menggunakan mesin scanner (waktu rata-rata yang diperlukan untuk proses *scanning* oleh alat *scanner* adalah 20 detik).
- 7) Citra yang telah diperoleh selanjutnya disimpan dalam file.bmp.
- 8) Citra yang didapat diolah melalui proses pengolahan citra menggunakan *Matlab2013a* untuk kepentingan analisis.
- 9) Perangkat lunak *Matlab2013a* digunakan untuk mengolah citra yang telah diperoleh dan nantinya dapat menggambarkan distribusi temperatur obyek yang mengalami kontak dengan permukaan *TLC*. Metode yang dipilih adalah pengolahan citra berdasarkan morfologi matematika pada citra *hue*.

#### B. Pengambilan Data Telapak Tangan Manusia

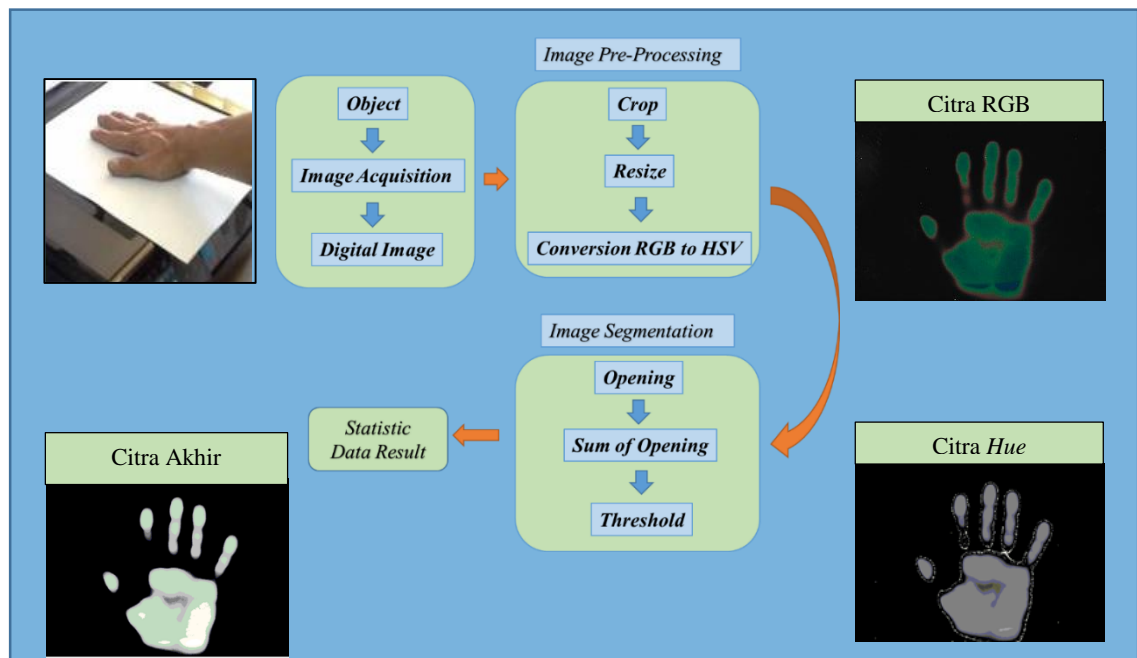
- 1) Temperatur ruang dan Intensitas cahaya ruang yang mengenai *TLC* diatur konstan.
- 2) Lembaran *TLC* 25°-30°C diletakkan di atas mesin scanner.
- 3) Scanner tersebut dikoneksikan ke komputer untuk proses akuisisi citra.
- 4) Telapak tangan subyek diletakkan di atas lembaran *TLC* seperti pada Gambar 3.3.
- 5) Citra permukaan *TLC* direkam menggunakan mesin scanner (waktu rata-rata yang diperlukan untuk proses *scanning* oleh alat *scanner* adalah 20 detik).
- 6) Citra yang telah diperoleh selanjutnya disimpan dalam file.bmp.
- 7) Citra yang didapat diolah melalui proses pengolahan citra menggunakan *Matlab2013a* dengan program yang sama seperti yang digunakan untuk kalibrasi.
- 8) Hasil dianalisis.



**Gambar 3.3** Cara pengambilan data telapak tangan subyek menggunakan *TLC* dan *Scanner*

### III.4 Teknik Pengolahan Citra

Perangkat lunak *Matlab2013a* digunakan untuk memproses citra yang telah diperoleh dan nantinya dapat menggambarkan distribusi temperatur obyek yang mengalami kontak dengan lembar *TLC*. Tahapan analisis ditunjukkan seperti Gambar 3.3. Pada teknik pengolahan citra dipilih metode pengolahan citra berdasarkan morfologi matematika pada citra *hue* berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya.



**Gambar 3.4.** Tahapan pengolahan citra

## BAB IV. JADWAL PENELITIAN

Jadwal pelaksanaan penelitian ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

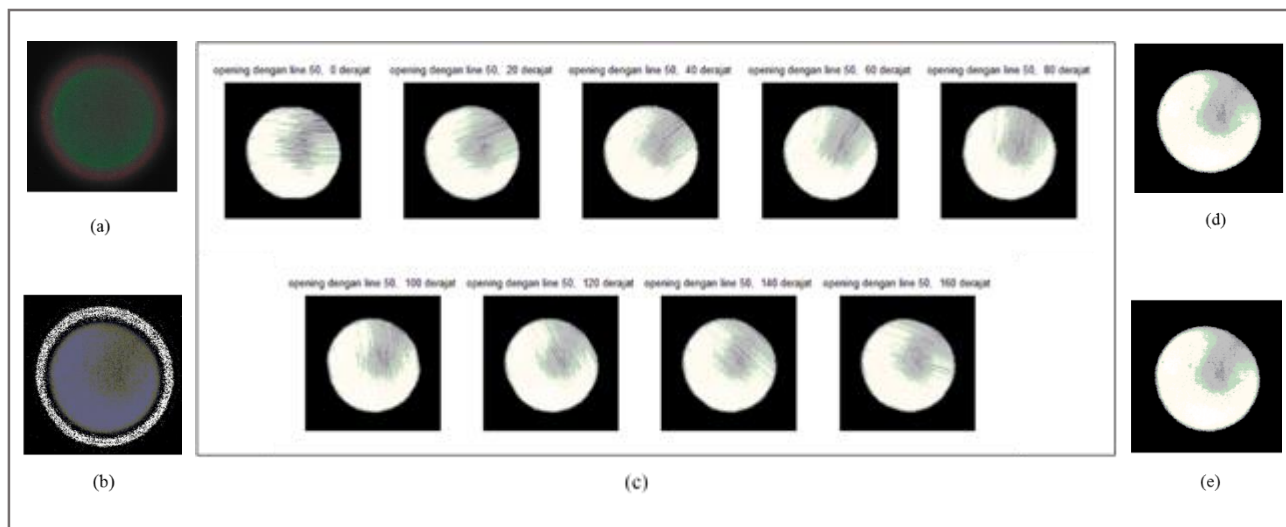
**Tabel 4.1.** Jadwal pelaksanaan penelitian

No	Kegiatan	Bulan ke-											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Diskusi awal	■	■	■									
2	Pembelian bahan dan persiapan alat		■	■									
3	Kalibrasi				■								
4	Pengolahan citra dan pembuatan program					■							
5	Analisis awal dan Diskusi 1						■						
6	Pengambilan data Telapak Tangan							■					
7	Pengolahan Citra Lanjut							■	■				
8	Analisis lanjut dan Diskusi 2								■	■			
9	Penulisan makalah									■			
10	Publikasi										■		
11	Penulisan Laporan Penelitian											■	

## BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

### V.1 Kalibrasi

Hasil citra kalibrasi permukaan *TLC* pada temperatur 27 °C untuk setiap tahapan pada proses pengolahan citra, ditunjukkan oleh Gambar 5.1.



**Gambar 5.1.** Citra permukaan *TLC* menggunakan labu erlenmeyer diisi air, pada temperatur 27 °C. (a) Citra RGB (b) Citra *hue* (c) Citra *hue* pada proses *opening* dengan *line* 50, dan variasi *deg* (d) Hasil gabungan citra pada proses c (e) Citra akhir setelah proses *thresholding*

Citra *hue* pada Gambar 5.1(b) diperoleh dengan mengonversi citra RGB (*red*, *green*, *blue*) menjadi HSV (*hue*, *saturation*, *value*), dan diambil komponen *hue* saja. Nilai *hue* berada pada rentang 0-1, pada citra biner, *hue* bernilai 1 bila citra berwarna putih dan nol bila citra berwarna hitam (Gonzales, 2002). Berdasarkan Gambar 5.1(b), tampak perbedaan yang cukup signifikan pada pola lingkaran di bagian tepinya, hal ini dikarenakan adanya efek pertukaran kalor terhadap lingkungan yang lebih cepat terjadi di bagian tepi dari permukaan dasar labu elenmeyer. Untuk memperbaiki kualitas citra dapat dilakukan teknik pengolahan citra dengan meniadakan bagian tepi agar sebaran intensitas citranya lebih merata. Pada pengolahan citra digunakan teknik segmentasi berdasarkan morfologi matematika.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya (Suryantari dan Flaviana, 2015), operasi utama yang digunakan adalah *opening* dan *closing*, dengan SE *line*, dan dengan sejumlah tahapan yang mengakibatkan lambatnya proses pengolahan citra hingga diperoleh citra akhir. Dalam pengolahan citra kali ini digunakan proses utama *opening* saja, untuk meminimalisir tahapan, namun tetap menghasilkan citra dengan kualitas yang diharapkan, sehingga waktu pengolahan citra menjadi lebih singkat. SE yang digunakan adalah *line* dengan variasi sudut putar. Dengan pemilihan ukuran



panjang (LEN) dan variasi sudut putar (DEG) yang tepat, dapat dihasilkan citra yang lebih baik, karena sejumlah piksel yang dikenai operasi ini cukup banyak sehingga tepat pada sasaran.

Pada proses segmentasi, dilakukan 9 kali *opening* menggunakan *SE line* dengan ukuran LEN 50 dan variasi DEG untuk setiap 20 derajat, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.1(c). Tahapan selanjutnya adalah dengan melakukan penggabungan citra hasil *opening* tersebut, diikuti *thresholding*. Dalam *thresholding* dibutuhkan suatu nilai pembatas antara objek utama dengan latar belakang (nilai tersebut dinamakan dengan *threshold*,  $T$ ). *Thresholding* digunakan untuk mempartisi citra dengan mengatur nilai intensitas semua piksel yang lebih besar dari nilai  $T$  sebagai latar depan, dan yang lebih kecil dari  $T$  sebagai latar belakang. Dengan teknik ini akan diperoleh citra utama yang cukup kontras dengan latar belakangnya. *Thresholding* dilakukan setelah proses *opening*. Nilai  $T$  yang dipilih pada penelitian ini adalah berdasarkan nilai rata-rata (*mean*) citra gabungan hasil *opening* (Gonzales, 2002).

Gambar 5.1(d) merupakan citra hasil penggabungan 9 kali *opening* tersebut, sedangkan Gambar 5.1(e) merupakan citra akhir, setelah proses *thresholding*. Citra akhir hasil pengolahan citra dengan teknik ini menunjukkan kualitas citra yang semakin baik dilihat dari kekontrasan citra utama (lingkaran terang) dengan latar belakang gelap.

Tahapan yang sama diterapkan untuk citra permukaan TLC pada temperatur 25<sup>0</sup>C, 26<sup>0</sup>C, 28<sup>0</sup>C, 29<sup>0</sup>C, dan 30<sup>0</sup>C, sesuai dengan rentang temperatur yang diijinkan oleh bahan tersebut. Secara kualitatif terdapat perbedaan citra akhir bagi setiap temperatur, setelah diterapkan operasi tersebut. Secara kuantitatif perbedaan tersebut dapat dilihat dari nilai statistik *hue*, berupa nilai *min*, *max* dan *mean*, yang ditunjukkan oleh Tabel 5.1.

**Tabel 5.1.** Nilai *hue* citra permukaan TLC pada proses kalibrasi

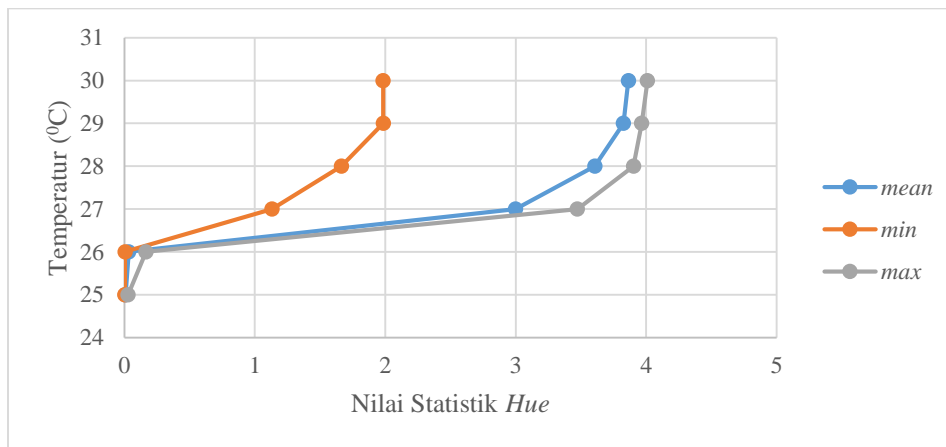
Temperatur (°C)	<i>min</i>	<i>mean</i>	<i>max</i>	<i>Count</i> <sup>(*)</sup>
25	0,0034	0,0083	0,0278	992
26	0,0043	0,0327	0,1659	9742
27	1,1305	2,9973	3,4719	63242
28	1,6627	3,6060	3,9022	77473
29	1,9841	3,8254	3,9649	87035
30	1,9833	3,8634	4,0096	86182

(\*)jumlah piksel yang diperhitungkan

Nilai yang ditunjukkan oleh Tabel 5.1 merupakan nilai dari sejumlah piksel yang membentuk geometri lingkaran terang, tanpa menyertakan latar belakang objek yang gelap. Jumlah piksel yang diperhitungkan juga ditampilkan dalam Tabel 5.1. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa

bila temperatur semakin meningkat, maka jumlah piksel yang memiliki nilai *hue* lebih besar dari nol akan semakin bertambah, artinya secara visual citra obyek dapat menjadi semakin terang.

Berdasarkan data pada Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa nilai *min*, *max*, dan *mean* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Nilai statistik yang ditampilkan pada Tabel 5.1 diperoleh berdasarkan informasi data dari *Matlab2013a*. Nilai *hue* dapat melebihi 1, karena nilai tersebut merupakan jumlahan dari nilai *hue* masing-masing citra hasil *opening* seperti ditunjukkan oleh Gambar 5.1(c). Nilai statistik tersebut kemudian direpresentasikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 5.2.



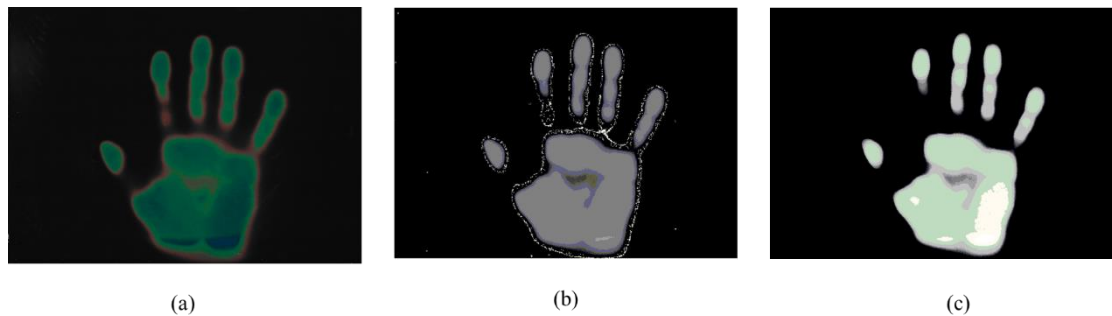
**Gambar 5.2.** Grafik hubungan temperatur terhadap nilai statistik hue

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.2, tampak bahwa hasil tersebut serupa dengan grafik pada Gambar 2.9 hasil penelitian sebelumnya. Teknik pengolahan citra berbasis morfologi matematika yang lebih sederhana dan dengan proses utama *opening*, dapat menghasilkan nilai statistik yang cukup representatif dalam menunjukkan perbedaan citra yang dihasilkan pada temperatur yang berbeda. Hasil data kalibrasi dapat digunakan untuk memperkirakan temperatur permukaan benda yang mengalami kontak dengan permukaan TLC, yaitu dengan cara menerapkan proses pengolahan citra yang sama dengan teknik kalibrasi, sehingga diperoleh nilai statistik *hue*-nya, kemudian dapat ditentukan temperatur permukaan benda berdasarkan pola grafik pada Gambar 5.2.

### V.1 Pengukuran Temperatur Rata-Rata Telapak Tangan Manusia

TLC dapat diaplikasikan untuk mengukur distribusi temperatur rata-rata permukaan benda, misalnya permukaan bagian tubuh tertentu seperti telapak tangan dan kaki (Bharara, 2007). Dalam penelitian ini, data kalibrasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.1 akan dimanfaatkan untuk menentukan temperatur rata-rata telapak tangan sejumlah subyek yang tidak memiliki indikasi penyakit tertentu, atau dapat dikatakan dalam kondisi sehat, pada saat proses pengambilan data.

Pada proses pengambilan data telapak tangan, ruangan diatur pada temperatur yang sama dengan temperatur saat pengambilan data kalibrasi, yaitu pada 18°C. Teknik pengambilan data dan pengolahan citra yang digunakan juga seperti pada proses kalibrasi, sehingga hasil akhir nilai *hue* citra telapak tangan dapat dibandingkan dengan nilai *hue* dari permukaan labu erlenmeyer yang diisi air, dengan menggunakan bahan TLC yang sama. Gambar 5.3 menunjukkan citra telapak tangan salah satu subyek pada TLC 25-30 °C, sebelum dan sesudah diterapkan metode pengolahan citra berbasis morfologi matematika dengan tahapan yang sama seperti pada Gambar 5.1.



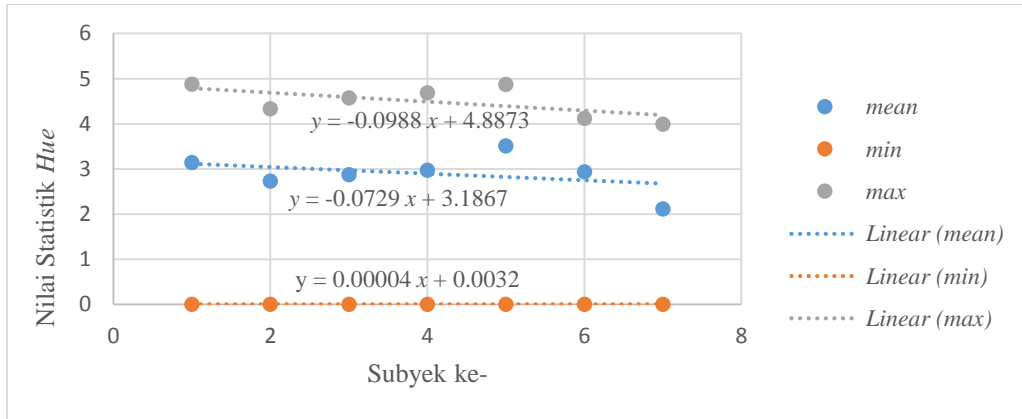
**Gambar 5.3.** Citra permukaan tangan salah satu subyek pada TLC 25-30 °C. (a) Citra RGB (b) Citra *hue* (c) Citra akhir setelah diterapkan proses pengolahan citra berbasis morfologi matematika

Gambar 5.3 menunjukkan bahwa citra akhir telapak tangan cukup representatif dalam memvisualisasikan gambaran telapak tangan sebenarnya. Latar belakang citra permukaan tangan ditunjukkan oleh warna hitam, dimana secara kuantitatif nilai *hue*-nya adalah nol. Nilai tersebut tidak akan diikutsertakan dalam perhitungan nilai statistiknya (*min*, *max*, dan *mean*), artinya data yang digunakan hanyalah berasal dari piksel-piksel yang membentuk geometri telapak tangan tersebut. Nilai statistik *hue* permukaan sejumlah subyek, ditunjukkan oleh Tabel 5.2.

**Tabel 5.2.** Nilai *hue* telapak tangan pada permukaan TLC 25-30 °C

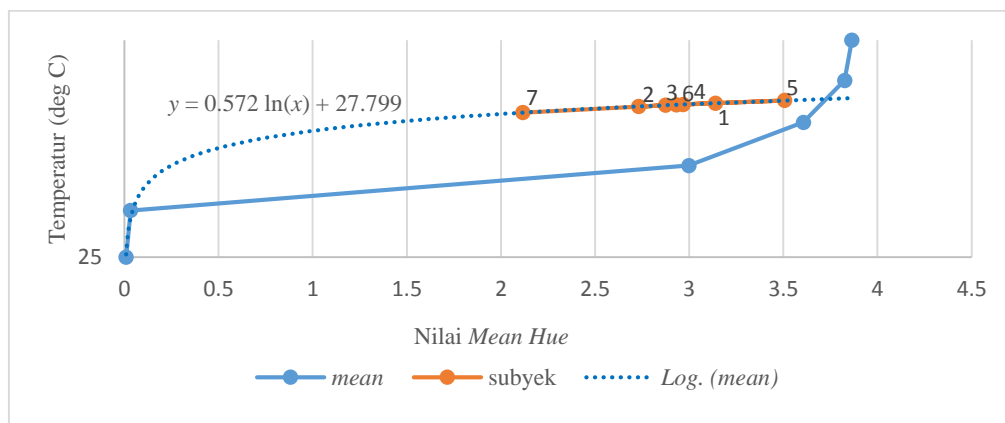
Subyek	<i>min</i>	<i>mean</i>	<i>max</i>
1	0,0035	3,1397	4,8751
2	0,0031	2,7318	4,3279
3	0,0033	2,8743	4,5730
4	0,0034	2,9668	4,6850
5	0,0035	3,5056	4,8698
6	0,0033	2,9324	4,1212
7	0,0036	2,1154	3,9917

Berdasarkan Tabel 5.2, dapat ditunjukkan bahwa nilai *hue* telapak tangan untuk sejumlah subyek dalam kondisi sehat, menunjukkan perbedaan yang relatif tidak signifikan bila dibandingkan dengan perbedaan nilai *hue* untuk setiap perbedaan temperatur 1 °C seperti pada Tabel 5.1. Setelah hasil tersebut direpresentasikan dalam grafik, seperti pada Gambar 5.4, maka dapat ditunjukkan dengan lebih jelas distribusi nilai *hue* tersebut. Berdasarkan Gambar 5.4, dapat dilihat bahwa sebaran data tersebut cukup merata dengan ditunjukkan nilai kemiringan garis yang mendekati nol.



**Gambar 5.4.** Distribusi nilai statistik *hue* telapak tangan subyek

Untuk menentukan nilai rata-rata temperatur telapak tangan, maka data pada Tabel 5.2 dibandingkan nilainya dengan data kalibrasi. Berdasarkan data pada Tabel 5.1 dan 5.2 dapat dilihat bahwa nilai *mean* pada Tabel 5.2 cukup sesuai dengan nilai *mean* pada Tabel 5.1, sehingga nilai *mean* dapat digunakan sebagai nilai referensi dalam penentuan temperatur rata-rata telapak tangan.



**Gambar 5.5.** Grafik fungsi logaritma hubungan temperatur terhadap nilai *mean hue*, dan sebaran data nilai *mean hue* sejumlah subyek

Berdasarkan hasil data kalibrasi seperti pada grafik Gambar 5.2, dapat diperoleh hubungan temperatur dan nilai *hue* secara matematis, dengan menampilkan grafik tersebut dalam bentuk grafik logaritma. Grafik logaritma untuk nilai *mean hue*, dan sebaran data sejumlah subyek, ditunjukkan oleh Gambar 5.5.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.5, dapat ditentukan persamaan fungsi logaritma hubungan nilai *mean hue* terhadap peningkatan temperatur, yaitu  $y = 0,572 \ln(x) + 27,799$ , dimana variabel  $y$  merupakan nilai temperatur, dan  $x$  merupakan nilai *mean hue*. Temperatur telapak tangan dapat ditentukan nilainya dengan menggunakan persamaan tersebut bagi sejumlah data *mean hue* dari Tabel 5.2. Nilai temperatur rata-rata telapak tangan sejumlah subyek dapat ditunjukkan oleh Tabel 5.3.

**Tabel 5.3.** Nilai temperatur permukaan tangan sejumlah subyek berdasarkan nilai *mean citra hue*

Subyek	nilai <i>mean hue</i>	Temperatur rata-rata telapak tangan (°C)
1	3,1397	28,4538
2	2,7318	28,3741
3	2,8743	28,4032
4	2,9668	28,4214
5	3,5056	28,5169
6	2,9324	28,4147
7	2,1154	28,2278

Berdasarkan data pada Tabel 5.3, maka dapat dilihat bahwa nilai temperatur rata-rata telapak tangan subyek dalam kondisi sehat, pada temperatur ruang 18°C, menggunakan TLC 25-30 °C, adalah sekitar 28 °C. Hasil tersebut sangat bergantung pada kondisi lingkungan, karena telapak tangan cukup cepat memberikan respon terhadap perubahan temperatur lingkungan. Oleh karena itu, pengambilan data dilakukan dengan memperlakukan subyek pada kondisi yang sama, yaitu subyek berada pada ruangan selama 10 menit, kemudian discan permukaannya. Menurut Ring (2010), permukaan tangan subyek dapat menyesuaikan temperaturnya dengan temperatur lingkungan dengan cukup cepat sekitar 10 menit. Karena temperatur ruang yang cukup rendah (18°C), maka citra permukaan tangan yang masih relatif lebih tinggi dari temperatur ruang, dapat terlihat cukup baik pada permukaan TLC 25-30 °C. Artinya selama 10 menit tersebut belum terjadi pertukaran kalor yang besar antara permukaan tangan dengan lingkungan, sehingga temperatur permukaan tangan masih berada pada rentang yang terjadi 25-30 °C.

Berdasarkan citra permukaan tangan menggunakan kamera FLIR, dari Gambar 2.11, dapat ditunjukkan bahwa distribusi temperatur telapak tangan subyek normal berada pada rentang 22-33 °C. Hasil citra pada permukaan TLC berada pada rentang 25-30 °C, sehingga hasil pengukuran ini cukup sesuai, namun karena menggunakan alat yang berbeda, dan kondisi lingkungan yang berbeda pula maka tentu hasilnya tidak akan tepat sama. Hasil pengukuran seperti pada Tabel 5.3, hanya berlaku untuk kondisi lingkungan, teknik pengambilan gambar, teknik pengolahan citra, dan bahan TLC yang sama dengan yang tertulis pada metode penelitian.

Hasil penelitian ini dapat menunjukkan pula bahwa apabila citra telapak tangan subyek menunjukkan anomali, atau diperoleh data nilai *mean hue* yang menyimpang cukup ekstrim, dapat diduga subyek yang bersangkutan memiliki gangguan kesehatan. Dengan demikian, subyek dapat mengetahui lebih dini adanya gangguan kesehatan tersebut, sehingga dapat lebih cepat dilakukan penanganan.

## **BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **V1.1 Kesimpulan**

- 1) *TLC* dapat digunakan untuk menentukan nilai temperatur rata-rata telapak tangan, dengan teknik pengolahan citra berbasis morfologi matematika dengan menerapkan operasi *opening*, dan berdasarkan nilai statistik *hue* pada citra akhir.
- 2) Nilai temperatur rata-rata telapak tangan subyek dalam kondisi sehat pada temperatur ruang 18 °C, menggunakan *TLC* 25-30 °C, dan berdasarkan nilai *mean hue* pada citra akhir, adalah sekitar 28°C.

### **VI.2 Saran**

- 1) Untuk hasil yang lebih representatif, maka dapat dilakukan pemetaan distribusi temperatur pada area-area tertentu pada telapak tangan.
- 2) Perlu dilakukan pengambilan data telapak tangan subyek penderita diabetes atau gangguan kesehatan lainnya, untuk menunjukkan dengan jelas bagaimana perbedaan citranya dengan subyek dalam kondisi sehat.

## DAFTAR PUSTAKA

1. 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.
2. Bharara, Manish. 2007. Liquid Crystal Thermography in Neuropathic Assesment of Diabetic Foot, PhD Thesis, Bournemouth University.
3. Chandrasekhar, S. 1992. Liquid Crystal, Cambrige: University Press.
4. Flaviana. 2012. Master Tesis: Karakterisasi Thermochromic Liquid Crystal dalam Pengukuran Distribusi Temperatur Berbasis Mathematical Morphology pada Citra Hue, Institut Teknologi Bandung.
5. Flaviana & Suryantari. 2015. The application of Thermochromic Liquid Crystal in Temperature Distribution Measurement of Human's Palm Hand. Indonesian Journal of Applied Physics. Volume: 05(1), page: 105-113.
6. Gabriel, J.F. 1996. Fisika kedokteran, Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
7. Gonzales, R.C., Woods, R.E. 2002. Digital Image Processing, 2ed, Prentice Hall.
8. Hallcrest. 1991. Handbook of Thermochromic Liquid Crystal. Glenview, IL, Hallcrest.
9. Phillips, J. 2005. Liquid Crystal. Burnside Hall McGill University.
10. Ring, EF. 2010. Thermal Imaging Today and Its Relevance to Diabetes. Journal of Diabetes Science and Technology. Volume: 4(4), page: 857-862.
11. Sarbani, D.S, et al. 2010. Thermography: A New Diagnostic Tool in Density. Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology. Volume: 22(4), page: 206-210.
12. Suryantari & Flaviana. 2015. Linearization of Hue Value on the Surface of Thermochromic Liquid Crystal with Variation of Temperature. Indonesian Journal of Applied Physics. Volume: 05(1), page 84-91.
13. Tendonology. 23 Januari 2010. Biomedical Imaging Study. [http://www.tendonology.com/tendon-treatment-documents/Biomedical\\_imaging-study.pdf](http://www.tendonology.com/tendon-treatment-documents/Biomedical_imaging-study.pdf). [diakses Oktober 2015].
14. Yang, Deng-Ke & Wu, Shin-Tson. 2006. Fundamentals of Liquid Crystal Devices. John Wiley&Son Ltd.



## Lampiran

### Program untuk Pengolahan Citra

```
gambar=imread('D:\data\1.bmp');
sizebaru=imresize(gambar, 0.5);
%imshow (sizebaru)
HSV = rgb2hsv(sizebaru);
H = HSV(:,:,1)
gambar2 = H
opena = imopen (gambar2, (strel('line',50,0)));
openb = imopen (gambar2, (strel('line',50,20)));
openc = imopen (gambar2, (strel('line',50,40)));
opend = imopen (gambar2, (strel('line',50,60)));
opene = imopen (gambar2, (strel('line',50,80)));
openf = imopen (gambar2, (strel('line',50,100)));
openg = imopen (gambar2, (strel('line',50,120)));
openh = imopen (gambar2, (strel('line',50,140)));
openi = imopen (gambar2, (strel('line',50,160)));
gabung32open = opena + openb + openc + opend + opene + openf + openh + openi ;
%imshow(gabung32open);
gabung32open1 = gabung32open;
for i1=1:412
    for i2=1:412
        if(gabung32open1(i1,i2)<0.659)
            gabung32open1(i1,i2)=0;
        end
    end
end
end
gabung32open2 = gabung32open1;
figure(1), subplot(111), imshow(gambar2, [])
title('citra hue subyek 1');
figure(2), subplot(251), imshow(opena, [])
title('opening dengan line 50, 0 derajat');
figure(2), subplot(252), imshow(openb, [])
title('opening dengan line 50, 20 derajat');
figure(2), subplot(253), imshow(openc, [])
title('opening dengan line 50, 40 derajat');
figure(2), subplot(254), imshow(opend, [])
title('opening dengan line 50, 60 derajat');
figure(2), subplot(255), imshow(opene, [])
title('opening dengan line 50, 80 derajat');
figure(2), subplot(256), imshow(openf, [])
title('opening dengan line 50, 100 derajat');
figure(2), subplot(257), imshow(openg, [])
title('opening dengan line 50, 120 derajat');
figure(2), subplot(258), imshow(openh, [])
title('opening dengan line 50, 140 derajat');
figure(2), subplot(259), imshow(openi, [])
title('opening dengan line 50, 160 derajat');
figure(3), subplot(121), imshow(gabung32open2, [])
title('penggabungan citra hasil opening subyek 1');
figure(3), subplot(122), imshow(gabung32open2, [])
title('citra akhir setelah thresholding subyek 1');
```