

APLIKASI *THERMOCHROMIC LIQUID CRYSTAL* UNTUK MENGAMATI PERPINDAHAN KALOR PADA PERMUKAAN LOGAM

Risti Suryantari*, Flaviana

Program Studi Fisika, Gedung 9 lantai 1, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains, Universitas Katolik
Parahyangan, Bandung, 40141

*email: ristisuryantari@unpar .ac.id

ABSTRACT

The purpose of this research was to observe the heat transfer on circular metal surface in contact with the surface of Thermochromic Liquid Crystal (TLC) R30C5W sheet, through the image on the surface of TLC during the heating process of metal. If the metal surface is in contact with the surface of TLC, the heat will move from the metal surface to TLC surface, and it is indicated by a color change on the surface of TLC. The original image is obtained in RGB is converted to hue image. The results showed, the value of mean hue increases by increasing temperature of metal surface. In addition, the value of hue along the center line of the circle image on the surface of TLC, fairly evenly distributed in the middle (inner circle) but diminishing the edges (right and left edges), which shows even further away from the edge of the metal surface, the thermal energy decreases because heat transfer occurs at the edges of the metal surface into the surrounding air.

Keywords: Thermochromic Liquid Crystal (TLC), hue, heat transfer.

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengamati peristiwa perpindahan kalor pada area permukaan logam yang berbentuk lingkaran, yang bersentuhan dengan permukaan lembaran *Thermochromic Liquid Crystal (TLC)* R30C5W, melalui citra permukaan *TLC* selama proses pemanasan logam. Apabila permukaan logam tersebut bersentuhan dengan permukaan *TLC*, maka kalor akan berpindah dari permukaan logam ke permukaan *TLC*, dan ditunjukkan dengan terjadinya perubahan warna pada permukaan *TLC*. Citra asli yang diperoleh dalam format *RGB* dikonversi menjadi citra *hue*. Hasil menunjukkan, seiring dengan meningkatnya temperatur permukaan logam, nilai *mean hue* semakin meningkat. Selain itu, nilai *hue* sepanjang garis tengah lingkaran pada permukaan *TLC*, cukup merata di bagian tengahnya (lingkaran dalam) namun semakin berkurang di tepinya (tepi kanan dan kiri), yang menunjukkan semakin jauh dari tepi permukaan logam maka energi kalornya semakin berkurang, karena terjadi perpindahan kalor pada tepi permukaan logam ke udara di sekitarnya.

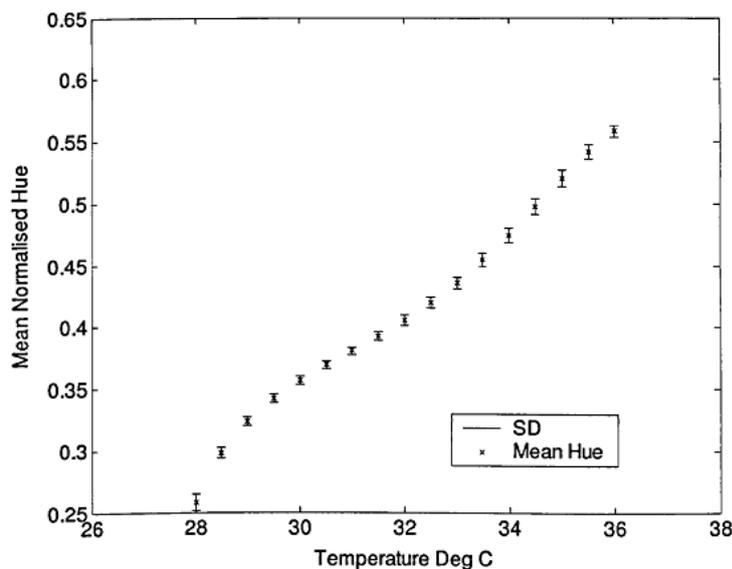
Kata kunci: *Thermochromic Liquid Crystal (TLC)*, *hue*, perpindahan kalor.

PENDAHULUAN

Perubahan warna (*color play*) terjadi bila pada permukaan bahan *Thermochromic Liquid Crystal (TLC)* mengalami kontak dengan suatu benda, dalam rentang temperatur tertentu sesuai spesifikasi bahan. *TLC* memiliki karakteristik dengan memunculkan salah satu warna (merah, kuning, hijau, biru atau ungu) yang bergantung pada panjang gelombang yang dipantulkan pada temperatur tertentu. Keunikan bahan ini dapat dipikasikan dalam pengamatan berbagai fenomena termal^[1].

Color play pada *TLC* didefinisikan dengan spesifikasi warna tertentu, yaitu *red start*, *mid-green*, atau *blue start*. Sebagai contoh *TLC R30C5W sheet* menggambarkan *TLC* dengan *red start* pada 30 °C, dan *bandwidth* 5 °C. Rentang area temperatur dimana warna tidak muncul disebut *clearing point*, pada *TLC R30C5W clearing point* terjadi setelah temperatur 35 °C. Di luar rentang temperatur yang diijinkan oleh bahan tersebut, seluruh cahaya akan diserap, dan permukaan *TLC* akan tampak hitam^[2].

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 temperaturnya. Dari penelitiannya, diperoleh hubungan antara nilai *hue* citra permukaan *TLC* dengan temperatur plat logam yang menyentuhnya, ditunjukkan oleh Gambar 1^[3].



Gambar 1. Grafik hubungan antara nilai *hue* citra permukaan *TLC* dengan temperatur plat logam^[3]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Suryantari dan Flaviana (2015), dilakukan pengambilan citra permukaan *TLC R25C5W* dan *R30C5W* yang mengalami kontak dengan permukaan labu erlenmayer yang diisi air pada temperatur tertentu, menggunakan *scanner*. Hasil citra diolah dengan metode pengolahan citra berbasis morfologi matematika. Hasil penelitian menunjukkan hubungan nilai *hue* terhadap temperatur, dimana kedua bahan *TLC* tersebut menunjukkan kecenderungan hubungan linearitas yang sama^[4].

Penggunaan *TLC* untuk pengamatan berbagai fenomena termal perlu dikembangkan untuk memberikan informasi yang lebih luas mengenai peristiwa termal sekaligus mempelajari karakteristik material *liquid crystal*^[5]. Oleh sebab itu pada penelitian ini, akan diaplikasikan *TLC* untuk mengamati peristiwa perpindahan kalor pada permukaan logam, dengan penjelasan secara kualitatif dan kuantitatif menggunakan metode pengolahan citra berbasis citra *hue*^[6], berdasarkan hasil penelitian-penelitian sebelumnya.

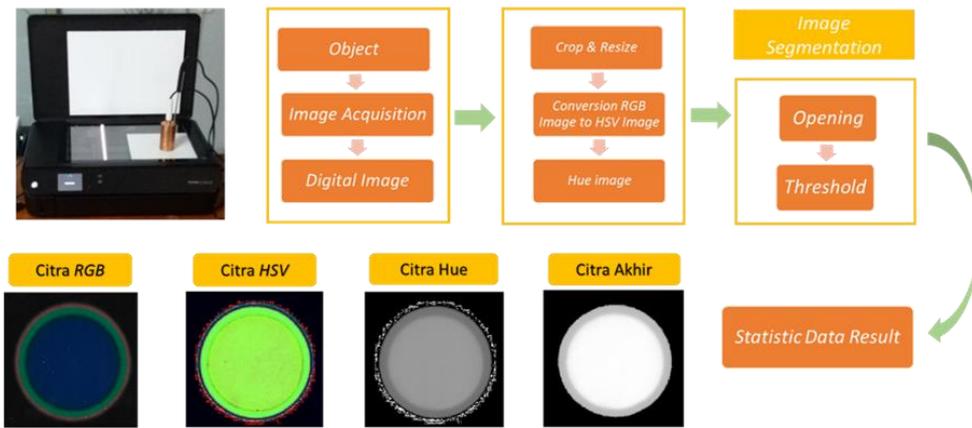
METODE

Dalam penelitian ini digunakan bahan utama berupa lembaran *Thermochromic Liquid Crystal (TLC)* ukuran 10×10 cm dengan rentang temperatur $30-35$ °C (dinamakan *TLC R30C5W*). *Scanner* dengan resolusi optik 300 dpi dan *bit depth 24-bit color* dikoneksikan dengan komputer. Selama proses pengambilan data temperatur ruang diatur konstan pada 18 °C. Lembaran *TLC* diletakkan di atas permukaan *scanner*, kemudian di atas permukaan *TLC* diletakkan logam kuningan dengan diameter 0,035 m, massa 0,5 kg, tinggi 0,068 m, kalor jenis sebesar 377 J/kg.K, dan konduktivitas termal 109 J/m.s.K. Pemanas celup dimasukkan ke dalam logam kuningan. Pemanas celup dihubungkan dengan sumber tegangan DC 12 V dan keluaran arus 5 A. Sensor temperatur diletakkan di dalam logam yang telah dihubungkan dengan pemanas celup, dan dikoneksikan dengan komputer. Nilai temperatur logam selama proses pemanasan akan muncul pada layar komputer. *Set up* alat dan bahan ditunjukkan oleh gambar 2.



Gambar 2. (color online) *Set up* alat dan bahan

Citra pertama direkam dengan *scanner* tepat ketika sumber tegangan dinyalakan. Citra selanjutnya diambil setiap 30 detik hingga 300 detik (selama 5 menit proses pemanasan). Data temperatur keseluruhan (selama 5 menit tersebut) disimpan untuk menunjukkan nilai temperatur ketika citra direkam. Keseluruhan citra yang telah diperoleh kemudian diolah menggunakan MATLAB R2014a untuk kepentingan analisis. Tahapan pengolahan citra ditunjukkan oleh gambar 3.



Gambar 3. (color online) Tahapan pengolahan citra

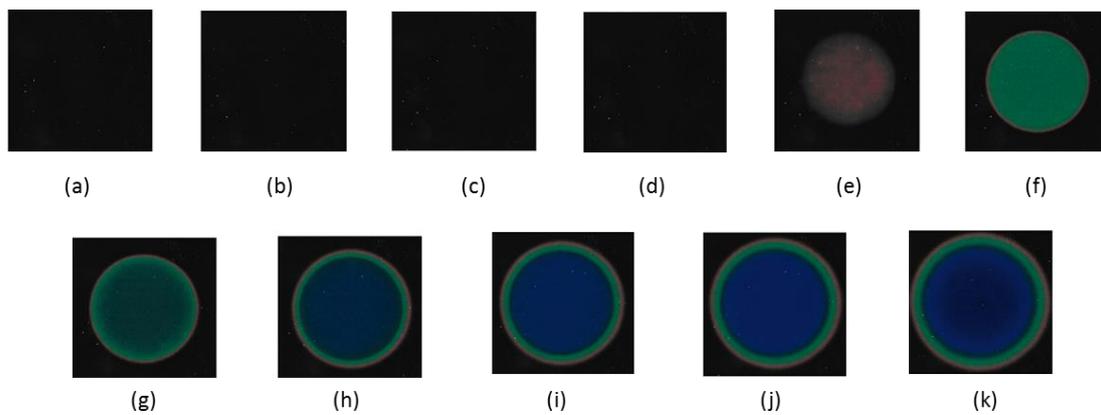
HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama proses perekaman citra permukaan TLC, temperatur di dalam logam dapat diukur menggunakan sensor temperatur setiap detik, selama proses pemanasan logam tersebut. Grafik kenaikan temperatur logam terhadap waktu ditunjukkan oleh gambar 4, dimana temperatur logam meningkat secara eksponensial dengan persamaan $y = 23,23 e^{0.0023x}$. dimana sumbu y menunjukkan temperatur logam, dan sumbu x adalah waktu pemanasan logam.



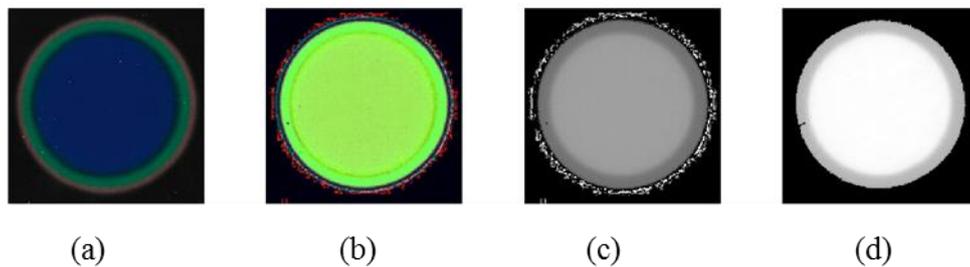
Gambar 4. (color online) Grafik kenaikan temperatur logam terhadap waktu pemanasan logam

Citra permukaan TLC dalam format RGB yang diperoleh ditunjukkan oleh gambar 5. Hasil citra pada gambar 5 menunjukkan TLC R30C5W tidak memberikan respon hingga detik ke 90 (gambar 5d). Hal ini dikarenakan temperatur permukaan logam berada pada nilai kurang dari 30 °C. Respon yang ditunjukkan dengan terbentuknya warna pada permukaan TLC ditunjukkan mulai detik ke 120 (gambar 5e), dimana secara visual tampak permukaannya berwarna kemerahan. Citra selanjutnya menunjukkan perubahan warna yang semakin merata berupa kehijauan dan kebiruan, diikuti terbentuknya pola perubahan warna di sekeliling area yang tidak kontak langsung dengan permukaan logam kuningin.



Gambar 5. (color online) Citra RGB permukaan TLC saat kontak dengan permukaan logam kuningan, pada detik ke (a) 0 (b) 30 (c) 60 (d) 90 (e) 120 (f) 150 (g) 180 (h) 210 (i) 240 (j) 270 (k) 300

Untuk dapat menganalisis citra secara kuantitatif, citra tersebut diolah menjadi citra yang lebih sederhana. Pada pengolahan citra dipilih metode dengan mengubah citra RGB menjadi HSV dan mengambil komponen *hue* saja. Citra *hue* yang diperoleh perlu diolah kembali untuk mendapatkan kualitas yang lebih baik, misalnya untuk meratakan bagian tepi agar analisis dapat dibatasi hanya untuk daerah lingkaran yang distribusi nilai *hue*-nya cukup merata. Area paling tepi menunjukkan terjadinya perpindahan kalor ke lingkungan yang lebih besar. Hal ini dapat memberikan pengaruh cukup besar kepada perhitungan nilai *hue* rata-ratanya. Sementara area di sekeliling permukaan TLC yang kontak langsung dengan permukaan logam tetap akan diambil, untuk menunjukkan pola perpindahan kalor pada permukaan logam ke lingkungan. Contoh hasil pengolahan citra ditunjukkan oleh gambar 6.



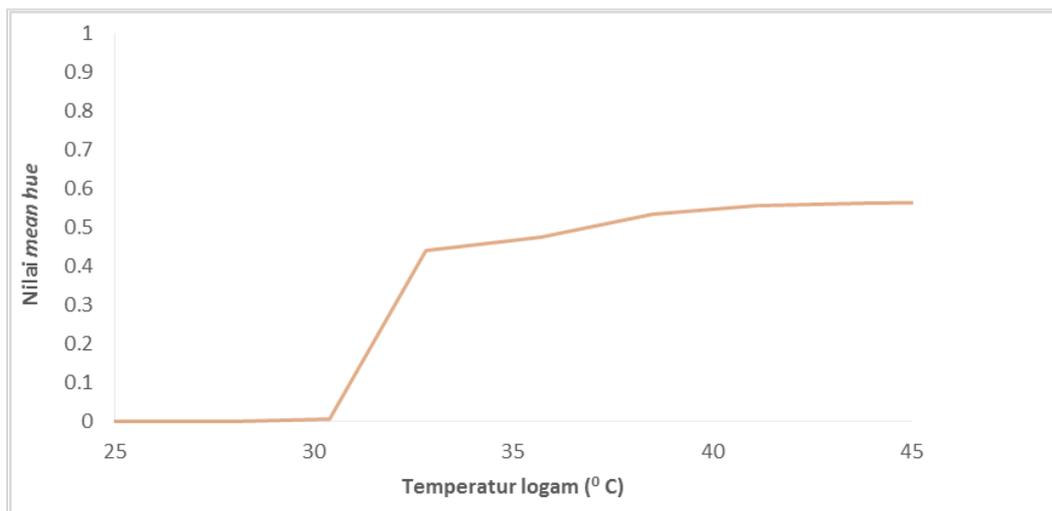
Gambar 6. (color online) Hasil pengolahan citra permukaan TLC saat kontak dengan permukaan logam kuningan, pada detik ke 270, (a) citra RGB (b) citra HSV (c) citra komponen hue (d) citra akhir

Pada citra akhir yang dihasilkan seperti pada gambar 6d, tampak dengan lebih jelas perbedaan kecerahan warna antara area sekitar pusat lingkaran dengan tepinya, sementara latar belakang berwarna hitam merupakan area permukaan TLC yang tidak memberikan respon terhadap temperatur permukaan logam karena temperaturnya berada kurang dari 30°C. Warna terang yang ditunjukkan pada lingkaran bagian dalam cukup merata, demikian juga dengan sekelilingnya, sehingga tampak jelas batas antara kedua area tersebut. Luas lingkaran bagian dalam, sama dengan luasan permukaan logam yang mengenai permukaan TLC.

Tabel 1. Data temperatur logam dan nilai mean hue citra permukaan TLC

Waktu pengambilan citra (detik)	Temperatur (°C)	Nilai <i>mean Hue</i>
0	24,4	0
30	24,7	0
60	25,9	0
90	27,9	0
120	30,4	0,00772
150	32,8	0,44032
180	35,7	0,47587
210	38,5	0,53579
240	41,1	0,55682
270	43,8	0,56428
300	46,4	0,56536

Berdasarkan citra akhir, dapat diperoleh nilai *mean hue* untuk menunjukkan perbedaan setiap citra yang dihasilkan. Nilai *hue* berkisar antara 0-1. Bila nilai *hue* sama dengan nol menunjukkan citra berwarna hitam, dan bila nilai *hue* sama dengan 1 maka citra yang ditunjukkan adalah putih. Dalam perhitungan nilai *mean hue*, nilai nol tidak dimasukkan, karena merupakan latar belakang citra utama. Data nilai *mean hue* setiap citra dan nilai temperatur logam saat pengambilan citra tersebut ditunjukkan oleh tabel 1. Hubungan antara nilai *mean hue* dengan kenaikan temperatur logam ditunjukkan oleh grafik gambar 7.



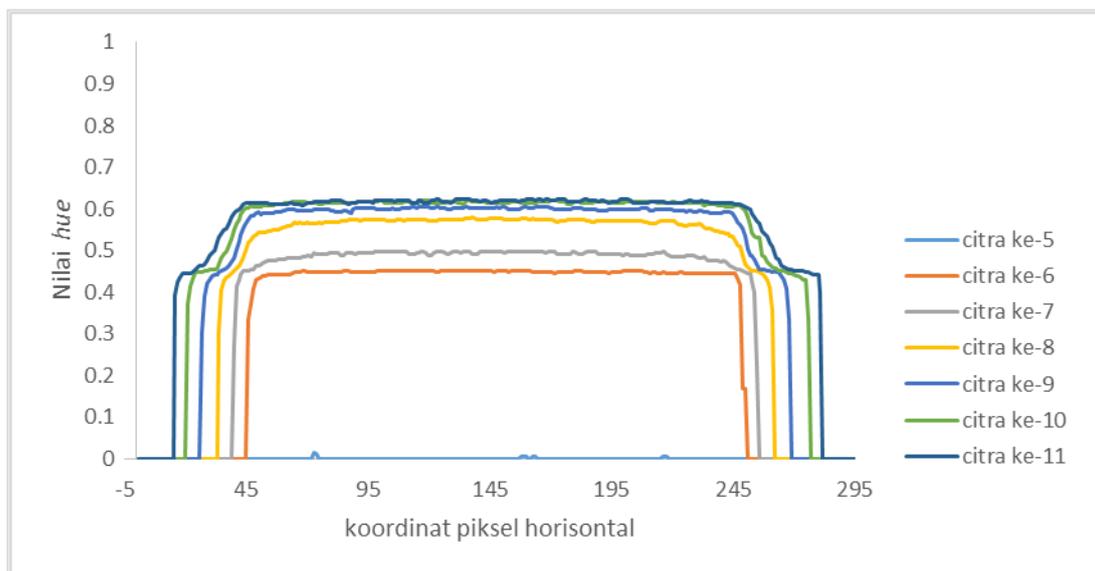
Gambar 7. (color online) Grafik hubungan nilai *mean hue* permukaan TLC terhadap kenaikan temperatur logam

Berdasarkan grafik pada gambar 7, dapat ditunjukkan kecenderungan kenaikan nilai *mean hue* permukaan TLC seiring meningkatnya temperatur logam, hal ini sesuai pula dengan karakteristik TLC seperti pada gambar 1.

Berdasarkan gambar 6d, daerah tepi lingkaran yang lebih gelap menunjukkan temperatur permukaan TLC pada area tersebut lebih rendah daripada area lingkaran bagian dalam. Pada area lingkaran bagian dalam, tampak kecerahannya cukup merata, hal ini

menunjukkan energi kalor yang dipindahkan dari permukaan logam ke permukaan *TLC* relatif sama. Namun semakin ke tepi, menunjukkan energi kalornya semakin berkurang. Artinya terjadi perpindahan kalor pada tepi permukaan logam ke udara di sekitarnya. Hal ini juga menunjukkan pertukaran kalor ke lingkungan lebih besar terjadi pada batas tepi permukaan logam^[7].

Molekul-molekul di dekat permukaan logam menerima kalor, dan mengubahnya menjadi energi kinetik bagi molekul udara tersebut, sehingga bergerak lebih cepat sambil memindahkan sebagian energi kalornya ke molekul udara di sekitarnya secara konveksi^[7]. Energi kalor yang dipindahkan dari permukaan logam ke udara di sekitarnya lebih kecil daripada energi kalor di dalam area permukaan logam. Semakin jauh dari permukaan logam maka energi kalornya semakin berkurang. Pola distribusi energi kalor pada permukaan logam dan di sekitar permukaan logam, dapat ditunjukkan oleh data kuantitatif distribusi nilai *hue* sepanjang garis tengah permukaan *TLC* untuk setiap citra, seperti pada gambar 8.



Gambar 8. (*color online*) Distribusi nilai *hue* sepanjang garis tengah citra permukaan *TLC* yang mengalami kontak dengan permukaan logam kuningan

Berdasarkan grafik gambar 8, tampak bahwa nilai *hue* sepanjang garis tengah lingkaran pada permukaan *TLC* menunjukkan nilai yang cukup merata di bagian tengahnya (lingkaran dalam), namun semakin berkurang di tepinya (tepi kanan dan kiri). Pola untuk logam kuningan dapat teramati mulai citra ke 5, sesuai dengan kenaikan temperatur logam. Citra ke-11 menunjukkan temperatur yang paling tinggi dari citra lainnya. Melalui gambar 8 juga dapat ditunjukkan, bahwa semakin tinggi kenaikan temperatur permukaan logam, maka nilai *hue* sepanjang garis tengah citra permukaan *TLC* akan semakin tinggi, sesuai dengan hasil pada gambar 7.

KESIMPULAN

TLC dapat diaplikasikan untuk mengamati peristiwa perpindahan kalor pada permukaan logam kuningan, dengan menerapkan metode pengolahan citra, dan melakukan analisis kuantitatif berdasarkan nilai *hue* dari citra *HSV* permukaan *TLC*. Seiring dengan

meningkatnya temperatur permukaan logam, nilai *mean hue* akan meningkat. Nilai *hue* cukup merata di bagian tengahnya (lingkaran dalam) namun semakin berkurang di tepinya (tepi kanan dan kiri), yang menunjukkan semakin jauh dari tepi permukaan logam maka energi kalornya semakin berkurang, karena terjadi perpindahan kalor pada tepi permukaan logam ke udara di sekitarnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM Universitas Katolik Parahyangan Bandung, atas dukungan dana penelitian dan kepada Dr Aloysius Rusli atas pembinaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Yang, Deng-Ke & Wu, Shin-Tson. 2006. *Fundamentals of Liquid Crystal Devices*. John Wiley&Son Ltd.
- 2 Hallcrest. 1991. *Handbook of Thermochromic Liquid Crystal*. Glenview, IL, Hallcrest.
- 3 Bharara, Manish. 2007. *Liquid Crystal Thermography in Neuropathic Assesment of Diabetic Foot*, PhD Thesis, Bournemouth University.
- 4 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.
- 5 J.A. Stasiek and T.A. Kowalewski. 2002. Thermochromic liquid crystals applied for heat transfer research. *Opto-Electronic Review* 10(1), 1-10.
- 6 Gonzales, R.C., Woods, R.E. 2002. *Digital Image Processing*, 2ed, Prentice Hall.
- 7 Zemansky, W Mark and Dittman, H Richard. 1997. *Heat and Thermodynamics*. 7th ed. McGraw-Hill, Inc.