

Visualisasi Termal Permukaan Tangan Manusia sebagai Alternatif Bahan Ajar Fisika Medis

R Suryantari^{1,2}, Flaviana¹

¹Program Studi Fisika, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains, Universitas Katolik Parahyangan, Gedung 9 lantai 1, Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung, 40141

²E-mail: ristisuryantari@unpar.ac.id

Abstrak. Salah satu kemampuan dasar yang harus dikuasai di bidang fisika medis adalah topik fisika termal. Dalam bidang medis dikenal metode termografi, yaitu salah satu metode diagnosa penyakit yang didasarkan pada perbedaan temperatur antar jaringan tubuh manusia dalam bentuk citra. Perkembangan teknik termografi selain dengan menggunakan kamera termal, adalah dengan menggunakan lembaran *Thermochromic Liquid Crystal (TLC)*. *TLC* memiliki respon terhadap perubahan temperatur permukaan yang ditunjukkan dengan perubahan warna sehingga *TLC* dapat digunakan untuk memvisualisasikan permukaan tangan manusia berdasarkan distribusi temperturnya. Hasil visualisasi ini dapat menjadi contoh konkret bahwa temperatur permukaan tubuh manusia tidaklah merata, dan dipengaruhi oleh temperatur ruang. Hasil ini dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan ajar dalam bidang fisika medis, khususnya yang berhubungan dengan fisika termal. Metode yang digunakan meliputi persiapan bahan ajar melalui kegiatan eksperimen, dan implementasi pada perkuliahan. Setelah bahan ajar ini diimplementasikan dalam perkuliahan, dan berdasarkan hasil angket evaluasi pembelajaran, dapat dilihat bahwa seluruh mahasiswa peserta kuliah setuju bahwa penjelasan materi dengan bahan ajar menggunakan hasil eksperimen dan menggunakan contoh visualisasi termal permukaan tangan manusia dapat menarik minat mahasiswa terhadap topik yang diajarkan, topik disampaikan dengan jelas, contoh yang diberikan relevan untuk menjelaskan teori atau konsep, serta secara keseluruhan, pengajaran berlangsung efektif.

Kata kunci: visualisasi termal, permukaan tangan, fisika medis

Abstract. One of the basic capabilities that must be mastered in the field of medical physics is the topic of thermal physics. In medical it was known thermography which is one method of diagnosis of the disease based on the temperature difference between the body tissue based on images. The development of thermography technique besides using a thermal camera, is using a *Thermochromic Liquid Crystal (TLC)* sheet. *TLC* has a response to the surface temperature changes which is indicated by a color change so that *TLC* can be used to visualize the human palm based on the temperature distribution. The result of this visualization can be a concrete example that the surface temperature of the human body is not evenly distributed and it is influenced by the room temperature. These results can be used as an alternative teaching materials in medical physics, especially related to thermal physics. The methods used here are the preparation of teaching materials through experimentation, and implementation on lecture. After these teaching materials are implemented in the lecture, and based on the results of questionnaires evaluation of learning, it can be seen that all students participating in the study agreed that the explanation of topic with teaching materials using experimental results and using the example of thermal visualization of the human palm can attract students to the topic, the topic is explained clearly, the example given is relevant to the theory or concepts, and overall, the teaching is effective.

Keywords: thermal visualization, palm, medical physics

1. Pendahuluan

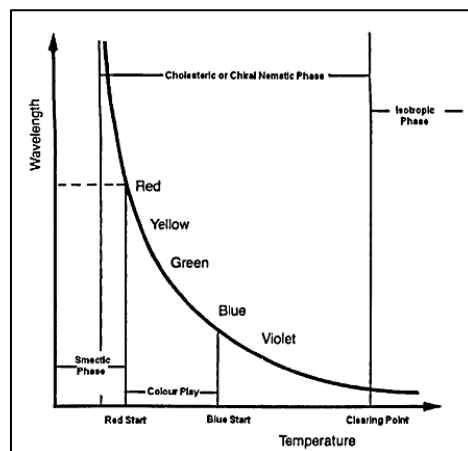
Fisika medis merupakan salah satu bidang peminatan ilmu fisika. Secara umum, dalam fisika medis dipelajari hal-hal yang berhubungan dengan kesehatan, termasuk dari segi instrumentasinya. Dasar-dasar ilmu fisika yang dipelajari tentunya meliputi seluruh topik yang terangkum dalam fisika dasar, seperti mekanika, gelombang, optika, termal, listrik-magnet, hingga fisika modern, dan nuklir, yang menjadi landasan penemuan peralatan-peralatan canggih di bidang kedokteran seperti sinar Rontgen, MRI (*Magnetic Resonance Imaging*), *CT-Scan*, dan sebagainya. Disamping itu, diperlukan teknik-teknik pendukung lainnya seperti teknik pencitraan, dan pemrograman komputer, terutama dalam bidang radiologi.

Salah satu kemampuan dasar yang harus dikuasai adalah berhubungan dengan fisika termal. Dalam bidang kedokteran, kondisi kesehatan tubuh pasien seringkali dapat direpresentasikan oleh peningkatan atau penurunan temperatur rata-rata tubuhnya. Peningkatan atau penurunan temperatur yang ekstrim permukaan bagian tubuh tertentu, dapat digunakan untuk mendiagnosa suatu penyakit tertentu. Distribusi temperatur permukaan yang bervariasi juga dapat disebabkan karena faktor eksternal seperti temperatur ruang, dan internal akibat metabolisme tubuh, serta aktivitas jaringan yang dekat dengan kulit (Davidovits, P, 2008).

Terdapat berbagai metode diagnosa penyakit, salah satu metode yang didasarkan pada perbedaan temperatur antar jaringan tubuh manusia dalam bentuk citra, disebut termografi. Penyakit yang dapat didiagnosa dengan metode ini misalnya kanker payudara, penyakit pembuluh darah, diabetes, nyeri pada persendian lutut, dan sebagainya. 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 (Bharara, 2007).

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)* (Sarbani, et al, 2010). Pengambilan gambar menggunakan lembaran TLC dapat menjadi relatif lebih murah dibandingkan dengan menggunakan kamera termal atau infra merah (Suryantari&Flaviana, 2015).

TLC memiliki respon terhadap perubahan temperatur permukaan 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 terjadi apabila pada permukaan *TLC* mengalami kontak dengan suatu benda, dalam rentang temperatur tertentu yang diijinkan oleh bahan tersebut. Bila suatu benda disentuh pada permukaan *TLC*, maka dapat diamati distribusinya pada setiap bagian dari permukaan benda tersebut (Hallcrest, 1991).

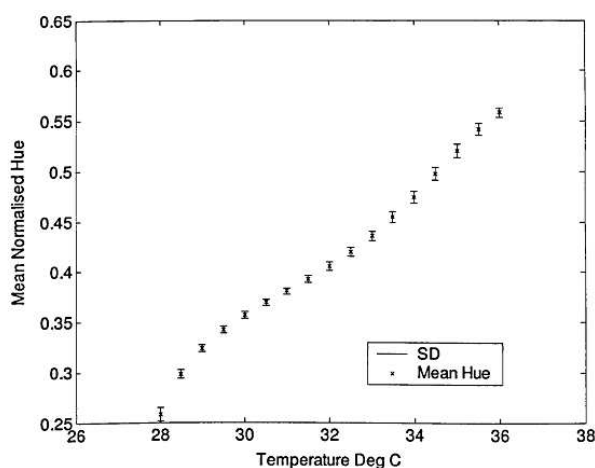


Gambar 1. Grafik hubungan antara panjang gelombang cahaya terhadap perubahan temperatur (Hallcrest, 1991)

TLC menunjukkan warna-warna 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 1 menunjukkan grafik hubungan antara panjang gelombang cahaya terhadap perubahan temperatur.

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°C, dan *bandwidth* 1°C. *Clearing point* adalah rentang area temperatur dimana warna tidak muncul. Rentang temperatur untuk *TLC* yang tersedia adalah mendekati -30°C sampai dengan 115°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 temperaturnya. Dari penelitiannya, diperoleh hubungan antara nilai *hue* citra permukaan *TLC* dengan temperatur subyek yang menyentuhnya, ditunjukkan oleh gambar 2.



Gambar 2. Grafik nilai *hue* terhadap temperatur pada material *TLC* (Bharara, 2007)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Suryantari dan Flaviana, 2015, telah diamati citra permukaan *TLC* pada rentang temperatur 25 °C - 30 °C dan 30 °C - 35 °C, dengan menggunakan permukaan labu erlenmayer yang diisi air pada temperatur tertentu, dan ditempatkan pada permukaan *TLC*. Citra direkam menggunakan *scanner*. Hasil citra diolah dengan metode pengolahan citra berbasis morfologi matematika, dengan mengubah citra RGB (*Red, Green, Blue*) menjadi HSV (*Hue, Saturation, Value*) menggunakan Matlab. Hasil penelitian menunjukkan hubungan nilai statistik *hue* terhadap temperatur, dimana kedua sampel menunjukkan kecenderungan hubungan linearitas yang sama, sesuai dengan referensi. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai alternatif metode kalibrasi dalam sistem pengukuran temperatur pada sejumlah subyek permukaan tangan manusia menggunakan *TLC*.

Hasil citra yang diperoleh dapat dianalisis secara kualitatif maupun kuantitatif. Berdasarkan visualisasi termal permukaan tangan manusia, dapat ditunjukkan distribusi temperatur pada setiap bagian permukaan tangan. Hasil visualisasi ini dapat menjadi contoh konkret bagaimana temperatur permukaan tangan berubah akibat faktor eksternal seperti temperatur ruang, serta hubungannya dengan metabolisme tubuh. Secara kuantitatif perbedaan temperatur di permukaan tangan dapat ditunjukkan dengan parameter nilai *hue* dari citra HSV yang diperoleh setelah menerapkan operasi pengolahan citra.

Dalam pembelajaran fisika medis, khususnya yang berhubungan dengan fisika termal, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai alternatif bahan ajar untuk menggambarkan dengan jelas bagaimana distribusi temperatur permukaan tubuh manusia, misalnya permukaan tangan. Dalam tulisan ini akan ditunjukkan bagaimana distribusi temperatur permukaan tangan subyek dalam kondisi sehat,

kemudian secara kuantitatif dilakukan pengukuran temperatur rata-rata dengan teknik pengolahan citra berbasis nilai *hue* dan operasi morfologi matematika. 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.

2. Metode

Metode yang digunakan meliputi persiapan bahan ajar melalui kegiatan eksperimen dan implementasi hasil eksperimen pada perkuliahan. Pada persiapan bahan ajar, ada dua tahapan yang dilakukan yaitu (1) tahapan kalibrasi dan pengambilan citra permukaan tangan, serta (2) penerapan metode pengolahan citra.

2.1. *Persiapan Bahan Ajar*

2.1.1. *Metode Kalibrasi dan Pengambilan Citra Permukaan Tangan*

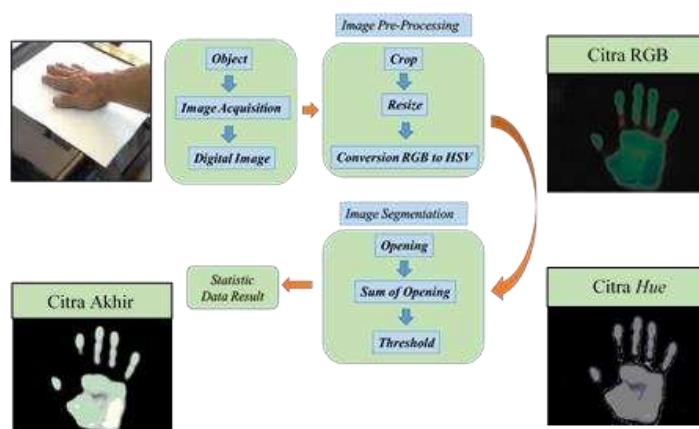
Selama pengambilan data, temperatur ruang dan intensitas cahaya ruang yang mengenai *TLC* diatur konstan. Lembaran *TLC* dengan rentang temperatur 25 °C - 30 °C (disebut *TLC R25C5W*) diletakkan di permukaan mesin *scanner* yang dikoneksikan ke komputer untuk proses akuisisi citra. Labu erlenmeyer diisi dengan air dan diatur temperaturnya konstan setiap 1°C dari 25 °C - 30 °C lalu diletakkan di atas lembaran *TLC*. Sensor temperatur diletakkan di dalam labu erlenmeyer yang telah diisi air, dan dikoneksikan dengan komputer. Setiap kali sensor temperatur menunjukkan nilai yang sesuai, citra permukaan *TLC* direkam menggunakan mesin *scanner*. Citra yang diperoleh kemudian diolah melalui proses pengolahan citra menggunakan Matlab untuk kepentingan analisis. Selanjutnya, permukaan tangan subyek diletakkan di atas lembaran *TLC* seperti pada Gambar 3. Citra permukaan *TLC* direkam menggunakan mesin *scanner*, seperti pada metode kalibrasi. Citra yang didapat diolah melalui proses pengolahan citra menggunakan Matlab dengan prosedur yang sama seperti yang digunakan pada tahapan kalibrasi.



Gambar 3. Cara pengambilan citra permukaan tangan subyek menggunakan *TLC* dan *Scanner*

2.1.2. *Metode Pengolahan citra*

Perangkat lunak Matlab digunakan untuk memproses citra yang telah diperoleh untuk dapat menggambarkan distribusi temperatur obyek yang mengalami kontak dengan lembar *TLC*. Tahapan analisis ditunjukkan seperti gambar 4. Pada teknik pengolahan citra dipilih metode pengolahan citra berdasarkan morfologi matematika pada citra *hue* berdasarkan penelitian tahun 2015.



Gambar 4. Tahapan pengolahan citra

2.2. Implementasi Hasil Eksperimen pada Perkuliahan

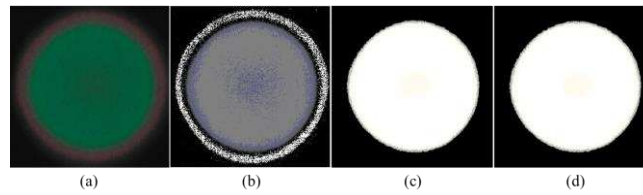
Hasil eksperimen digunakan sebagai bahan ajar salah satu topik di fisika medis yang berhubungan dengan perpindahan kalor pada tubuh manusia. Penjelasan yang diberikan meliputi: pengantar mengenai kalor pada tubuh manusia, pengantar termografi, contoh berbagai metode dan hasil penelitian untuk merepresentasikan kalor pada tubuh manusia, metode termografi dengan *TLC*, contoh hasil visualisasi permukaan tangan dengan *TLC*, dan penjelasan kualitatif dan kuantitatif dari citra permukaan tangan yang dihasilkan menggunakan *TLC*. Untuk mengukur apakah dengan menggunakan bahan ajar berdasarkan hasil eksperimen mandiri, pembelajaran menjadi lebih efektif, disusun angket evaluasi pembelajaran yang diisi oleh mahasiswa, sedangkan tingkat penguasaan materi dapat dilihat dari hasil ujian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Eksperimen Metode Termografi dengan *TLC* sebagai Bahan Ajar

Pada tahapan persiapan bahan ajar dalam memvisualisasikan permukaan tangan menggunakan *TLC*, diperoleh hasil berupa hasil citra kalibrasi dan citra permukaan tangan berdasarkan data hasil kalibrasi. Pada tahapan kalibrasi digunakan citra permukaan labu erlenmeyer yang diisi air pada setiap temperatur tertentu yang dibentuk pada permukaan *TLC* dijadikan sebagai acuan penentuan temperatur permukaan tangan. Untuk menyederhanakan citra, citra RGB dikonversi menjadi HSV (*hue*, *saturation*, *value*), kemudian komponen yang diambil hanyalah komponen nilai *hue* (tanpa menyertakan nilai *saturation* dan *value*), yang kemudian dinamakan citra *hue*. Pada citra biner, nilai *hue* berada pada rentang 0-1, secara visual bila *hue* bernilai 1 maka citra berwarna putih dan bila bernilai nol maka citra berwarna hitam (Gonzales, 2002).

Setelah diperoleh citra *hue*, dilakukan pengolahan citra untuk meningkatkan kualitas citra, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 5. Tujuannya adalah agar kekontrasan citra utama (lingkaran terang) dengan latar belakangnya semakin jelas, dengan meratakan bagian tepinya. Pada tahapan ini dilakukan proses segmentasi citra dengan operasi morfologi matematika yaitu *opening*. Metode ini dipilih karena morfologi matematika merupakan teknik pengolahan citra digital yang didasarkan pada bentuk *segmen* atau *region* di dalam citra, mengingat obyek citra utama nantinya adalah permukaan tangan yang bentuknya tidak simetris, sehingga teknik yang dipilih dapat meningkatkan kualitas citra tanpa mengubah bentuk yang seharusnya dari permukaan tangan. Operasi dasar dari morfologi matematika adalah dilasi dan erosi. Operasi dilasi akan menambahkan piksel pada batas dari objek di sebuah citra, sedangkan erosi mengurangi piksel pada batas dari objek. Kombinasi operasi erosi yang dilanjutkan dengan dilasi, disebut *opening*. Secara harafiah, operasi ini akan menghilangkan "lubang" putih pada objek yang hitam (Gonzalles, 2002).



Gambar 5. Contoh hasil citra permukaan labu erlenmeyer pada temperatur 29 °C pada permukaan TLC yang digunakan sebagai kalibrasi, dimana (a) citra RGB (b) citra hue (c) citra hasil *opening*, dan (d) citra akhir setelah diterapkan *thresholding*

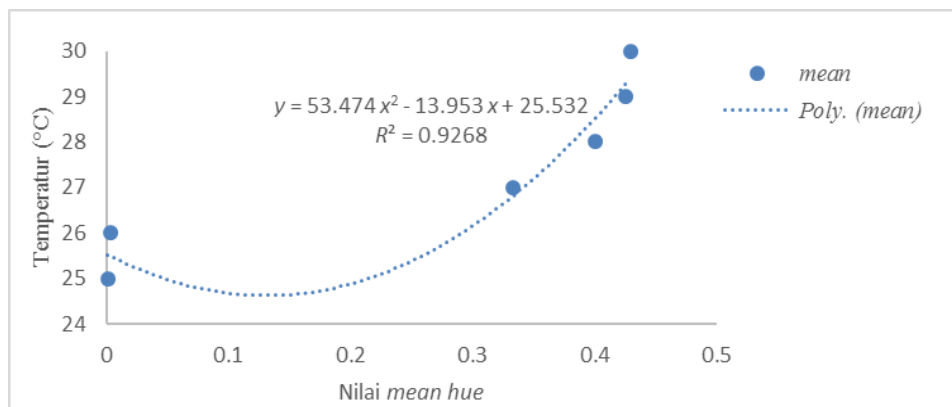
Tahapan selanjutnya adalah dengan menerapkan *thresholding* untuk mempartisi citra dengan mengatur nilai intensitas semua piksel yang lebih besar dari suatu nilai batas tertentu sebagai latar depan, dan yang lebih kecil dari batas tersebut sebagai latar belakang. Dengan teknik ini akan diperoleh citra utama yang cukup kontras dengan latar belakangnya (Gonzales, 2002). 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.

Secara kualitatif terdapat perbedaan citra akhir bagi setiap temperatur seperti pada gambar 5, setelah diterapkan operasi tersebut, sedangkan secara kuantitatif perbedaan tersebut dapat dilihat dari nilai statistik *hue*, berupa nilai *mean*, yang diperoleh dari Matlab, ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Nilai hue citra permukaan TLC R25C5W pada proses kalibrasi.

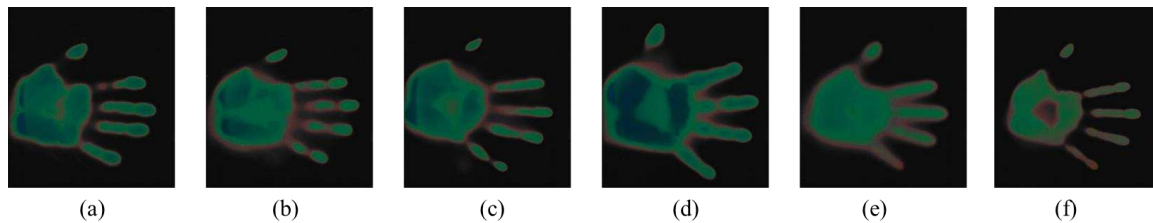
Temperatur (°C)	Nilai Mean Hue
25	0,0009
26	0,0036
27	0,3330
28	0,4006
29	0,4250
30	0,4293

Data pada tabel 1 disajikan dalam grafik seperti pada gambar 6. Tampak kecenderungan kenaikan nilai *mean hue* seiring dengan meningkatnya temperatur, sesuai dengan referensi, dimana kurvanya dapat didekati oleh persamaan $y = 53,474 x^2 - 13,953 x + 25,532$. Persamaan ini dapat digunakan untuk menentukan temperatur permukaan tangan yang menyentuh TLC dengan metode yang sama.



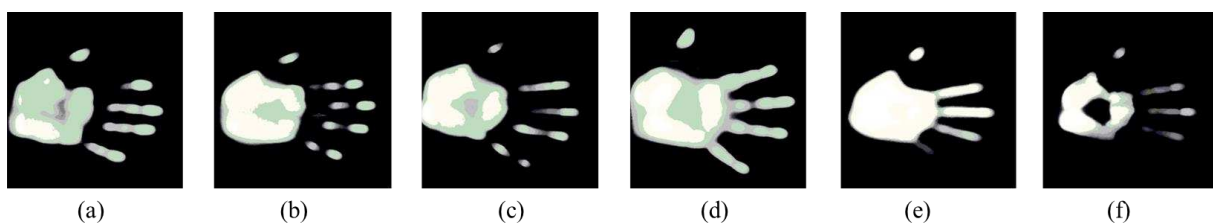
Gambar 6. Grafik hubungan kenaikan temperatur terhadap nilai *mean hue*

Proses yang dilakukan pada tahapan kalibrasi, kemudian diterapkan untuk sejumlah subyek permukaan tangan manusia, yang menyentuh permukaan *TLC* yang sama. Hasil citra permukaan tangan dari 6 subyek yang berbeda, pada temperatur ruang $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ditunjukkan oleh gambar 7. Citra diambil setelah 10 menit subyek berada dalam ruangan, dimana selama waktu tersebut temperatur permukaan tangan telah menyesuaikan dengan temperatur ruangan agar kondisi subyek satu dengan yang lainnya sedapat mungkin sama. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan, manusia normal setelah beraktivitas temperatur permukaan tubuhnya tidak sama ketika mereka dalam keadaan rileks.



Gambar 7. Hasil citra permukaan tangan pada permukaan *TLC* R25C5W untuk (a) subyek-1 (b) subyek-2 (c) subyek-3 (d) subyek-4 (e) subyek-5 (f) subyek-6

Secara kualitatif, berdasarkan gambar 7, tampak perbedaan warna antara permukaan tangan bagian dalam dengan tepinya, dimana secara visual pada bagian dalam permukaan tangan didominasi oleh warna biru dan hijau, sedangkan di tepinya kemerahan. Hal ini sesuai dengan karakteristik *TLC* R25C5W, dimana *red start* terjadi pada pada temperatur $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, diikuti dengan fase *green* seiring dengan meningkatnya temperatur, hingga fase *blue* pada temperatur $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Warna merah di sekeliling ruas jari tangan menunjukkan pada area tersebut temperturnya lebih rendah daripada bagian dalam tangan, hal ini dikarenakan adanya efek pertukaran kalor terhadap lingkungan yang lebih cepat terjadi di bagian tepi dari permukaan tangan. Warna gelap menunjukkan temperatur daerah tersebut berada di luar rentang temperatur *TLC*, sehingga cukup jelas ditunjukkan bahwa pada kondisi tersebut temperatur permukaan tangan berkisar antara rentang $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan *TLC* yang digunakan. Berdasarkan gambar 7 juga dapat ditunjukkan dengan jelas bahwa struktur permukaan tangan manusia satu dengan lainnya tidak sama, dan telapak tangan yang disentuh pada permukaan *TLC* tidaklah merata. Hal ini mengakibatkan perbedaan warna yang muncul terutama terlihat pada bagian tengah tangan, misalnya pada gambar 7d muncul warna kebiruan yang lebih banyak daripada gambar 7e. Selain itu distribusi warna yang ditunjukkan oleh gambar 7 juga memperlihatkan bahwa temperatur permukaan tubuh manusia pada dasarnya adalah tidak merata, dan pada pengukuran temperatur tubuh manusia menggunakan termometer badan yang biasa dilakukan, merupakan pengukuran temperatur rata-rata.



Gambar 8. Hasil citra akhir permukaan tangan pada permukaan *TLC* R25C5W untuk (a) subyek-1 (b) subyek-2 (c) subyek-3 (d) subyek-4 (e) subyek-5 (f) subyek-6

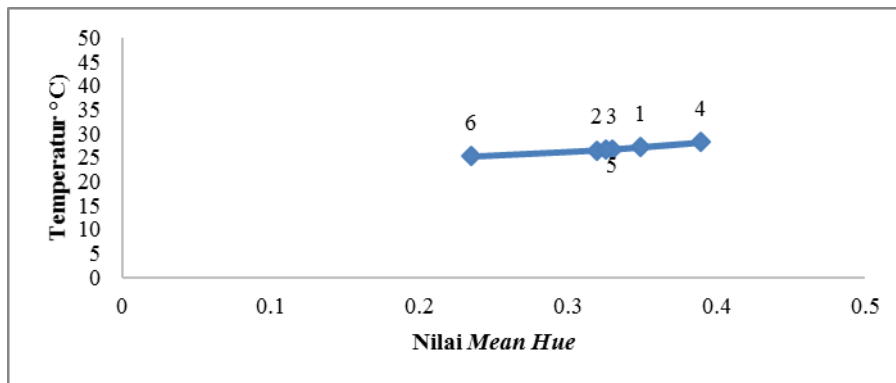
Secara kuantitatif perbedaan temperatur rata-rata permukaan tangan tersebut dapat diperoleh dengan menerapkan teknik pengolahan citra seperti pada tahapan kalibrasi berdasarkan nilai *mean hue* citra akhir. Citra akhir permukaan tangan ditunjukkan oleh gambar 8. Citra akhir permukaan cukup representatif dalam memvisualisasikan gambaran telapak tangan sebenarnya. Latar belakang citra

permukaan tangan ditunjukkan oleh warna hitam, dimana secara kuantitatif nilai *hue*-nya adalah nol. Nilai *mean hue* berasal dari piksel-piksel yang membentuk geometri telapak tangan. Nilai *mean hue* permukaan tangan sejumlah subyek, beserta perhitungan nilai temperatur berdasarkan grafik gambar 6 ditunjukkan oleh tabel 2.

Tabel 2. Nilai *mean hue* citra permukaan tangan pada TLC R25C5W dan nilai temperatur rata-rata permukaan tangan

Subyek ke-	Nilai Mean Hue	Temperatur (°C)
1	0,3488	27,1722
2	0,3193	26,5299
3	0,3296	26,7432
4	0,3895	28,2102
5	0,3258	26,6625
6	0,2350	25,2067

Berdasarkan data pada Tabel 2, maka dapat dilihat bahwa nilai temperatur rata-rata permukaan tangan subyek dalam kondisi sehat, pada temperatur ruang 18 °C, yang berada dalam ruangan selama 10 menit, adalah pada rentang 25 °C - 28 °C. Hasil pada tabel 2 disajikan dalam grafik pada gambar 9, dimana sebaran nilai temperatur permukaan tangan berada pada rentang 25 °C - 28 °C.



Gambar 9. Grafik temperatur permukaan tangan manusia dalam kondisi sehat, yang berada dalam ruangan bertemperatur 18 °C, selama 10 menit

Hasil tersebut sangat bergantung pada kondisi lingkungan, karena temperatur telapak tangan cukup cepat memberikan respon terhadap perubahan temperatur lingkungan. Menurut Ring (2010), permukaan tangan subyek dapat menyesuaikan 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 dengan rentang temperatur 25 °C - 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 °C - 30 °C. Hasil ini dapat menunjukkan pula bahwa apabila 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.

3.2. Implementasi Hasil Eksperimen pada Perkuliahan

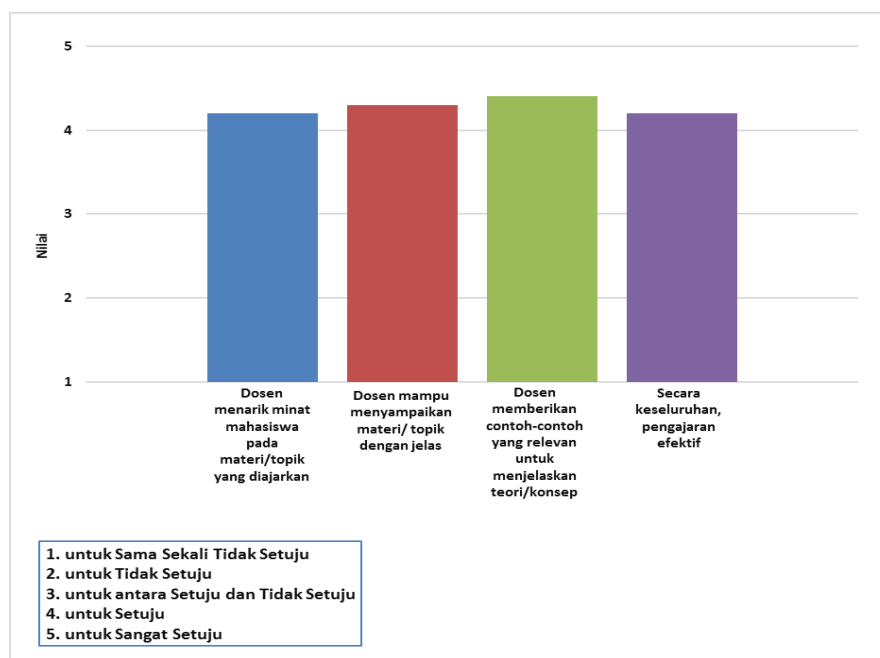
Hasil yang disajikan seperti yang telah dipaparkan pada penjelasan hasil metode termografi dengan TLC kemudian digunakan sebagai bahan ajar pada salah satu topik perkuliahan fisika medis, yang berhubungan dengan kalor pada tubuh manusia. Sebelum menjelaskan mengenai hasil eksperimen ini,

terlebih dahulu dijelaskan pengantar mengenai kalor pada tubuh manusia, pengantar termografi, contoh berbagai metode dan hasil penelitian untuk merepresentasikan kalor pada tubuh manusia, dan metode termografi dengan *TLC*.

Tujuan yang ingin dicapai dengan menggunakan visualisasi dari suatu hasil penelitian mandiri sebagai bahan ajar adalah agar penjelasan materi menjadi lebih jelas dan mudah dipahami dengan menggunakan contoh yang nyata, lebih efektif, serta meningkatkan minat mahasiswa pada materi yang diajarkan. Untuk mengukur apakah mahasiswa dapat memahami materi dengan baik dapat dilihat dari nilai tes untuk topik terkait. Hasil tes menunjukkan nilai rata-rata dari 10 mahasiswa adalah 77,2 dari maksimal 100, yang relatif cukup baik. Sementara itu untuk mengukur efektifitas pembelajaran disusun angket dengan poin-poin pertanyaan yang diisi dengan angka 1-5 dimana 5 menunjukkan respon sangat setuju dan 1 sama sekali tidak setuju. Poin-poin pertanyaan yang diberikan adalah sebagai berikut:

- (1) Dosen menarik minat mahasiswa pada topik yang diajarkan
- (2) Dosen mampu menyampaikan topik dengan jelas
- (3) Dosen memberikan contoh-contoh yang relevan untuk menjelaskan teori/konsep
- (4) Secara keseluruhan, pengajaran efektif.

Hasil respon dari 10 mahasiswa ditunjukkan oleh gambar 10.



Gambar 10. Hasil angket evaluasi pembelajaran

Berdasarkan hasil angket seperti yang ditunjukkan oleh gambar 10, dapat dilihat bahwa seluruh mahasiswa peserta kuliah setuju bahwa penjelasan materi dengan bahan ajar menggunakan hasil eksperimen dan menggunakan contoh visualisasi termal permukaan tangan manusia dapat menarik minat mahasiswa terhadap topik yang diajarkan, topik disampaikan dengan jelas, contoh yang diberikan relevan untuk menjelaskan teori atau konsep, serta secara keseluruhan, pengajaran berlangsung efektif.

4. Simpulan

Permukaan tangan manusia dapat divisualisasikan menggunakan *TLC*. Melalui citra yang dibentuk pada permukaan *TLC*, dapat ditunjukkan distribusi temperatur pada setiap bagian permukaan tangan. Hasil visualisasi ini dapat menjadi contoh konkret bahwa temperatur permukaan tubuh manusia tidaklah merata, serta bagaimana temperatur permukaan tangan yang berubah akibat faktor eksternal seperti temperatur ruang. Secara kuantitatif perbedaan temperatur di permukaan tangan dapat ditunjukkan dengan parameter nilai *hue* dari citra HSV yang diperoleh setelah menerapkan teknik pengolahan citra dengan operasi morfologi matematika, dimana nilai *mean hue* meningkat seiring dengan meningkatnya

temperatur. Selain itu diperoleh pula nilai temperatur rata-rata permukaan tangan subyek dalam kondisi sehat, pada temperatur ruang 18 °C, yang berada dalam ruangan selama 10 menit, menggunakan *TLC*, adalah pada rentang 25 °C - 28 °C. Hasil ini dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan ajar dalam bidang fisika medis, khususnya yang berhubungan dengan fisika termal. Setelah bahan ajar ini diimplementasikan dalam perkuliahan, hasil evaluasi melalui ujian tertulis menunjukkan mahasiswa dapat memahami materi dengan baik dengan nilai rata-rata dari 10 mahasiswa adalah 77,2 dari maksimal 100. Selain itu berdasarkan hasil angket evaluasi pembelajaran, dapat dilihat bahwa seluruh mahasiswa peserta kuliah setuju bahwa penjelasan materi dengan bahan ajar menggunakan hasil eksperimen dan menggunakan contoh visualisasi termal permukaan tangan manusia dapat menarik minat mahasiswa pada topik yang diajarkan, topik disampaikan dengan jelas, contoh yang diberikan relevan untuk menjelaskan teori atau konsep, serta secara keseluruhan, pengajaran berlangsung efektif.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada LPPM Universitas Katolik Parahyangan atas dukungan dana penelitian dan Dr. Aloysius Rusli atas diskusi selama pelaksanaan penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Bharara, Manish 2007 *Liquid Crystal Thermography in Neuropathic Assesment of Diabetic Foot (PhD Thesis)* (Bournemouth, UK: Bournemouth University) p 106-112
- [2] Chandrasekhar, S 1992 *Liquid Crystal* (Cambrige: University Press) p 1-8
- [3] Davidovits, Paul 2008 *Physics in Biology and Medicine 3rd ed.* (Burlington: Elsevier Inc) p 116-159
- [4] Gonzales, R.C., Woods, R.E 2002 *Digital Image Processing 2ed* (New Jersey: Prentice Hall) p 519-528
- [5] Hallcrest 1991 *Handbook of Thermochromic Liquid Crystal* (Glenview, I: Hallcrest) p 5-8
- [6] Ring, EF 2010 Thermal Imaging Today and Its Relevance to Diabetes (*Journal of Diabetes Science and Technology*) vol 4 no 4 pp 857-864
- [7] Sarbani, D.S, et al. 2010 Thermography: A New Diagnostic Tool in Densitry (*Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology*) vol 22 no 4 pp 206-210
- [8] Suryantari & Flaviana 2015 Linearization of Hue Value on the Surface of Thermochromic Liquid Crystal with Variation of Temperature Indonesian (*Journal of Applied Physics*) vol 05 no 1 pp 84-91