

Identifikasi Panas Objek Menggunakan Citra Termal

Marta Yose Aulia¹, Sri Ratna Sulistiyanti²

1. PT. Metro Global Services, Menara Duta Lt. 2 Wing B, Jakarta
2. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
kyo_marta@yahoo.co.id, sr_sulistiyanti@yahoo.com

Abstrak—Fotografi inframerah adalah suatu teknik dalam bidang fotografi untuk merekam cahaya yang tidak dapat dilihat secara langsung dengan mata. Oleh karena itu, diperlukan penapis yang menyaring hampir semua spektrum cahaya yang terlihat oleh kita. Penapis juga berfungsi untuk melewatkan cahaya inframerah (IR) sehingga bisa diteruskan ke kamera, dengan catatan bahwa sensor atau film dalam kamera tersebut harus sensitif terhadap cahaya inframerah. Ketika teknik tersebut digunakan maka hasil dari foto inframerah dapat menjadi foto hitam-putih yang kontras atau *false-color photo* seperti contohnya warna daun yang hijau segar akan terlihat putih. Dari penelitian yang dilakukan, sebagai penapis digunakan negatif film dan penapis Hoya yang dipasang pada masing-masing lensa kamera digital. Kamera digital yang digunakan terdiri dari dua jenis yaitu Finepix A400 dan Nikon D40X. Penapis negatif film yang digunakan terdiri dari empat jenis yaitu negatif film hitam putih serta negatif film warna afdruk dan non afdruk. Masing-masing negatif film tersebut dilakukan pembakaran dengan intensitas cahaya matahari yang berbeda dari yang paling rendah hingga yang sangat tinggi. Sedangkan untuk penapis Hoya digunakan jenis R72 dan RM90. Selanjutnya dari semua jenis penapis tersebut akan dilakukan perbandingan. Dari hasil penelitian serta perbandingan yang dilakukan didapatkan kesamaan yang terletak pada hasil pengambilan gambar masing-masing kamera digital menggunakan penapis negatif film warna dengan pencucian (pembakaran 20200 Lux) dan menggunakan penapis Hoya R72.

Kata kunci: Inframerah, negatif film, citra termal.

Abstract—*Infrared photography is a technique in the field of photography to record the light that can not be seen directly with eyes. Therefore, it will need filter that can filter almost every light spectrum. The filter also works to pass infrared into camera if sensor is sensitive to infrared. If the technique is used then infrared photo could be*

black/white that has good contrast or false color photo such as green fresh leaf into white color. The result, as filter is using film negative and Hoya filter that installed to camera. Finepix A400 and Nikon D40X are used as the digital camera. Four kind filters that used are b/w negative, color negative printed and unprinted. Each of filters was burned by using high sunshine intensity from the lowest to the highest. R72 and RM90 are used or Hoya filters. The result from all filters will be compared. As the result from this research, then we got similarity from each digital camera that using film negative filter with print and Hoya R72 filters.

Keywords: *Infrared, film negative, thermal image.*

A. Pendahuluan

Panas merupakan sebuah komponen yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Karena hampir setiap makhluk hidup dan benda-benda di sekitar kita dapat memancarkan panas. Namun panas tersebut secara harfiah tidak dapat kita saksikan langsung dengan mata kita melainkan hanya dapat dirasakan saja keberadaannya. Untuk dapat melihat keadaan panas pada suatu benda, kita memerlukan peralatan tambahan yang dapat menangkap sinyal panas yang dipancarkan.

Mengacu pada permasalahan yang ada maka perumusan perancangan ini ditekankan pada aspek yaitu bagaimana membuat sebuah kamera digital biasa agar dapat melakukan fotografi inframerah, yaitu dengan penambahan penapis inframerah yang diletakkan di bagian depan lensa kamera digital tersebut. Lalu hasil gambar yang didapat akan dibandingkan dengan kamera digital yang telah dilengkapi *infrared receiver*. Dalam hal ini objek yang diambil gambarnya

Naskah ini diterima pada tanggal 2 Juni 2008, direvisi pada tanggal 2 Juli 2008 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 1 Agustus 2008

merupakan objek yang menghantarkan panas. Selanjutnya dilakukan pengolahan citra digital terhadap gambar objek yang telah diambil untuk dapat dilihat segmentasi citra termalnya menggunakan perangkat lunak Matlab.

B. Tinjauan Pustaka Fotografi Inframerah

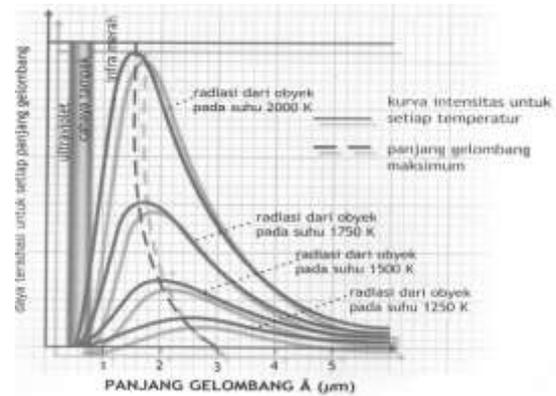
Fotografi inframerah adalah suatu teknik dalam bidang fotografi untuk merekam cahaya yang oleh mata tidak dapat dilihat secara langsung dan oleh karena itu diperlukan penapis yang dapat menapis hampir semua cahaya spektrum yang terlihat oleh kita dan melewatkan cahaya inframerah (IR) untuk diteruskan masuk ke kamera, dengan catatan bahwa sensor atau film dalam kamera tersebut harus sensitif terhadap cahaya inframerah[1]. Ketika teknik tersebut digunakan, hasil dari foto inframerah bisa menjadi foto hitam-putih yang kontras atau foto *false-color*, seperti contohnya warna daun yang hijau segar akan terlihat putih, pemandangan yang panas akan tampak seperti di musim salju dan seperti di dunia lain[2].

Radiasi Benda Hitam

Fenomena radiasi benda hitam memperoleh namanya melalui cara yang secara menarik terbalik. Dalam fisika klasik, benda hitam adalah benda yang menyerap semua radiasi elektromagnetik yang jatuh padanya. Jika benda semacam itu menjadi panas, dia akan memancarkan energi yaitu radiasi benda hitam tetapi dia tak akan hitam lagi. Nama kunonya radiasi rongga memberikan pandangan yang lebih dalam tentang sifat radiasi semacam ini[3].

Sekitar tahun 1890-an, eksperimen telah menunjukkan secara pasti bagaimana radiasi benda hitam terkait dengan temperaturnya. Ketika spektrum elektromagnetik dari radiasi ini diplot sebagai grafik (kurva radiasi benda hitam), tampak adanya puncak yang halus, seperti

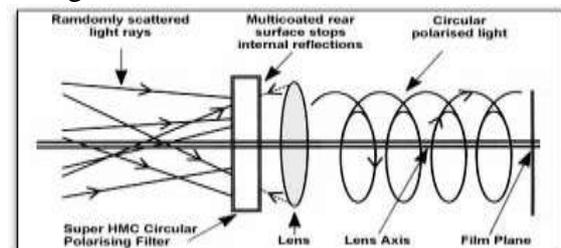
sebuah bukit. Kurva benda hitam ditunjukkan pada gambar 1



Gambar 1. Kurva benda hitam

Intensitas radiasi dari sebuah benda panas memuncak pada panjang gelombang yang terkait dengan temperatur bendanya. Kurva benda hitam ini memuncak di daerah panjang gelombang inframerah dari spektrum dalam bentuk "bukit" dan menghasilkan sedikit radiasi di daerah spektrum cahaya tampak. Pada temperatur tertentu, puncaknya selalu berada pada bagian yang sama dari spektrum, yaitu pada panjang gelombang yang sama. Tetapi ketika benda menjadi bertambah panas, puncaknya bergerak ke arah panjang gelombang yang lebih pendek (dari inframerah, menuju merah, oranye, biru, dan seterusnya). Tetapi di kedua sisi dari puncaknya hanya ada sedikit radiasi yang dipancarkan.

Proses penangkapan cahaya dari objek menggunakan sebuah kamera dapat dilihat dari gambar 2:



Gambar 2. Proses penangkapan cahaya oleh lensa inframerah.

Pada saat awal cahaya masuk secara acak langsung menembus lensa penapis

inframerah kemudian dipantulkan oleh lensa kamera. Sebelum dipantulkan lensa penapis inframerah mengalami sirkulasi polarisasi. Dan setelah dipantulkan lensa kamera cahaya yang masuk mengalami refleksi internal. Kemudian dilanjutkan masuk ke *plane* film dari kamera tersebut yang sebelumnya mengalami sirkulasi polarisasi cahaya. Lensa axis di atas mewakili lensa pengukur panjang gelombang.

C. Metode Penelitian

Langkah-langkah kerja yang dilakukan dalam perancangan dan realisasinya adalah sebagai berikut :

1. Perancangan alat/tapis

Perancangan alat/tapis meliputi perancangan sistem dan rangkaian dari alat yang digunakan. Perancangan menyeluruh terhadap rangkaian dan alat eksperimennya, yaitu cara menyediakan medium yang cocok sebagai tempat filter agar dapat diletakkan pada bagian lensa kamera

2. Pembuatan alat

Dilakukan realisasi dari perancangan alat yang telah dibuat. Filter inframerah dipasang pada bagian lensa kamera, sehingga gambar yang akan ditangkap bukan lagi berupa cahaya tampak melainkan cahaya inframerah yang dipantulkan oleh benda tersebut.

3. Pengujian alat

Cara pengujian alat yang telah dirangkai adalah dengan mengambil gambar beberapa kali dari objek yang diamati

4. Analisis dan Kesimpulan

Analisis data-data yang diperoleh dari hasil pengujian berupa gambar objek yang didapat dari kamera digital tersebut serta hasil dari pengolahan citra digitalnya menggunakan *software* Matlab[4].

D. Hasil dan Pembahasan

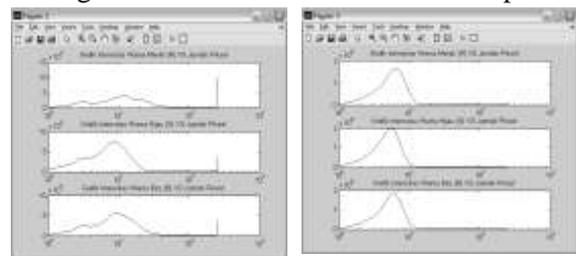
Hasil penelitian pertama digunakan penapis negatif film jenis hitam putih.

Untuk pembakaran 19800 Lux



a.Diagram Titik asli

b.DT A400 bertapis

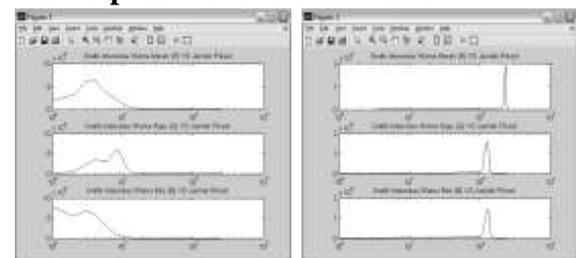


c.Nikon D40X, R72

d.Nikon D40X, RM90

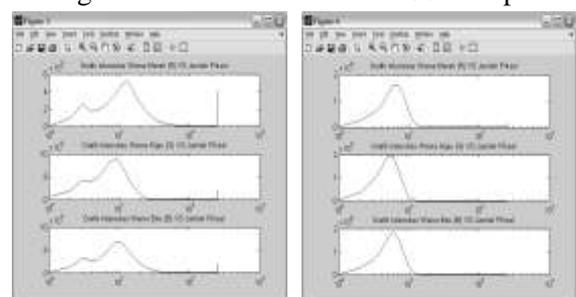
Gambar 3. Diagram titik tapis negatif film H/P non cuci 19800 Lux

Untuk pembakaran 27000 Lux



a.Diagram Titik asli

b.DT A400 bertapis



c Nikon D40X, R72

d. Nikon D40X, RM90

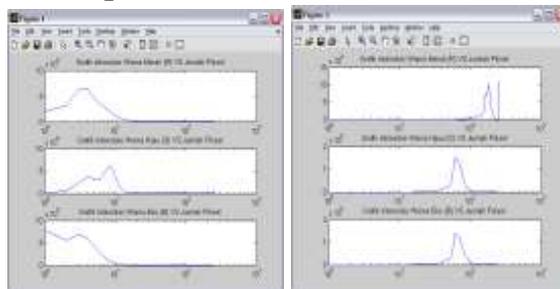
Gambar 4. Perbandingan diagram titik tapis negatif film H/P tanpa cuci 27000 Lux.

Hasil dari kamera Finepix A400 cenderung masih melewati tiga unsur warna berupa merah, hijau dan biru (RGB). Berbeda dengan hasil yang didapat dari Kamera Nikon D40X dengan penapis Hoya R72 yang cenderung hitam, namun unsur warna

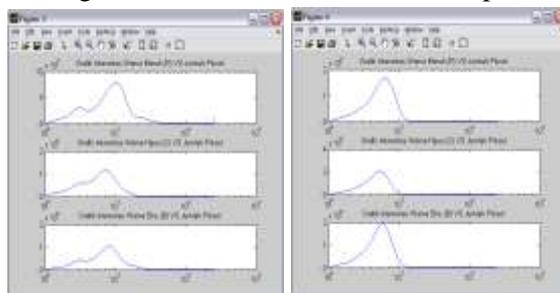
merah lebih mendominasi. Hal ini terlihat dari adanya garis yang menghubungkan titik pada intensitas ke 255 di bagian warna merah disetiap kali pengambilan gambar yang tidak diikuti warna biru dan hijau yang lama kelamaan cenderung hilang. Jika digunakan penapis Hoya RM90, didapatkan warna yang juga cenderung hitam, hanya saja sebaran pada unsur warna merah (R) lebih luas jika dibandingkan warna hijau (G) dan birunya (B) yang ditunjukkan oleh diagram titiknya. Dari data dan analisa yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa jenis penapis ini belum memenuhi syarat agar bisa dilakukan perbandingan untuk melihat apakah terdapat kesamaan atau tidak dikarenakan data yang didapat masih jauh berbeda.

Hasil penelitian menggunakan penapis negatif film warna belum cuci.

Untuk pembakaran 20200 Lux



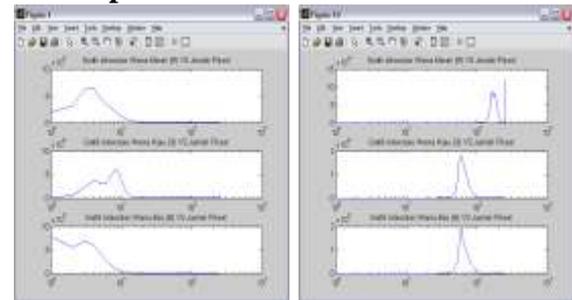
a. Diagram Titik asli b. DT A400 bertapis



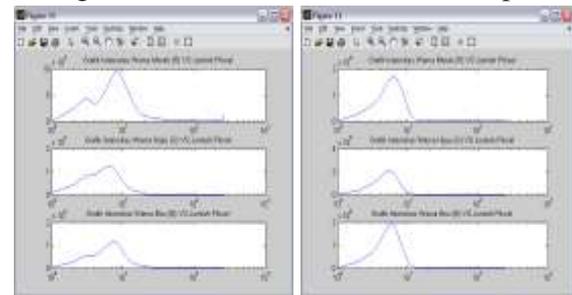
c. Nikon D40X, R72 d. Nikon D40X, RM90

Gambar 5. Diagram titik tapis negatif film warna non cuci 20200 Lux.

Untuk pembakaran 69500 Lux



a. Diagram Titik asli b. DT A400 bertapis



c. Nikon D40X, R72 d. Nikon D40X, RM90

Gambar 6. Perbandingan diagram titik tapis negatif film warna non cuci 69500 Lux.

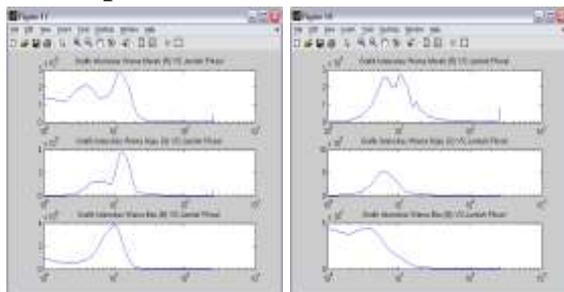
Gambar yang didapat dari kamera Finepix A400 sangat dominan pada unsur warna merah, bahkan terdapat intensitas yang tinggi pada warna yang sangat merah di intensitas 255. Akan tetapi hal ini diikuti dengan masih adanya unsur warna hijau dan biru yang tidak tertapis sempurna sehingga dapat dikatakan tapis ini masih melewatkan semua unsur warna (RGB). Berbeda dengan diagram titik dari gambar yang didapat dari kamera Nikon D40X yang lebih cenderung ke arah hitam pada unsur warna RGB nya. Hanya saja unsur warna merah lebih dominan yang ditunjukkan titik di intensitas 255 dari warna merah yang tidak diikuti warna hijau dan biru jika digunakan penapis Hoya R72. Sementara untuk gambar yang didapat menggunakan penapis RM90, intensitas warna RGB cenderung ke hitam, hanya saja sebaran warna lebih dominan pada warna merah dibandingkan warna hijau dan biru. Tidak terdapatnya titik pada intensitas 255 dikarenakan tapis RM90 tidak lagi melewatkan cahaya tampak. Dapat dikatakan bahwa penapis negatif

film warna tanpa pencucian belum dapat dilihat persamaannya dengan penapis Hoya dikarenakan hasil yang didapat dari masing-masing kamera masih jauh berbeda.

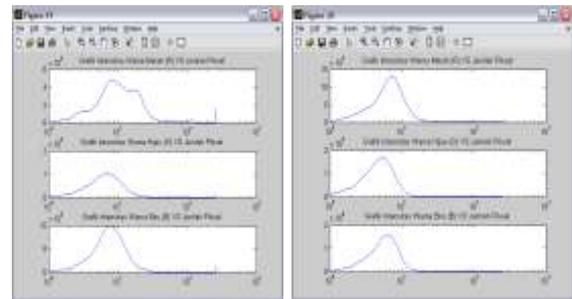
Hasil penelitian menggunakan penapis negatif film hitam putih dengan pencucian

Setelah dilakukan simulasi gambar menggunakan perangkat lunak Matlab, hasil dari pengambilan data awalnya sudah terlihat adanya kesamaan sebaran titik-titik yang dihasilkan oleh gambar (b), hasil dari kamera Finepix A400 dengan penapis negatif film hitam putih yang dilakukan pencucian dan gambar (c) hasil dari kamera Nikon D40X dengan penapis Hoya R72, terutama pada sebaran warna merahnya. Namun jika dilihat secara keseluruhan baik sebaran warna hijau dan birunya, diagram (b) cenderung sama dengan diagram (c) dan semakin ke bawah dalam artian penapis negatif film yang digunakan memiliki proses pembakaran yang makin besar, kesamaan tersebut makin jelas terlihat. Untuk data yang didapatkan menggunakan kamera Nikon D40X dengan penapis Hoya RM90, warna lampu cenderung kemerahan, tetapi saat dilihat dari diagram titiknya, tidak terdapat warna merah yang dominan, cenderung gelap pada semua unsur warna.

Untuk pembakaran 19800 Lux



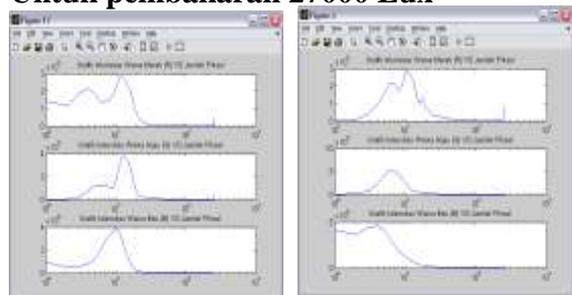
a. Diagram Titik asli b. DT A400 bertapis



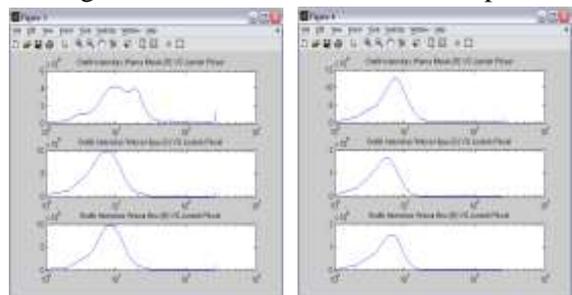
c.Nikon D40X,R72 d.Nikon D40X,RM90

Gambar 7. Perbandingan diagram titik tapis negatif film H/P cuci 19800 Lux.

Untuk pembakaran 27000 Lux



a. Diagram Titik asli b. DT A400 bertapis



c.Nikon D40X,R72 d.Nikon D40X,RM90

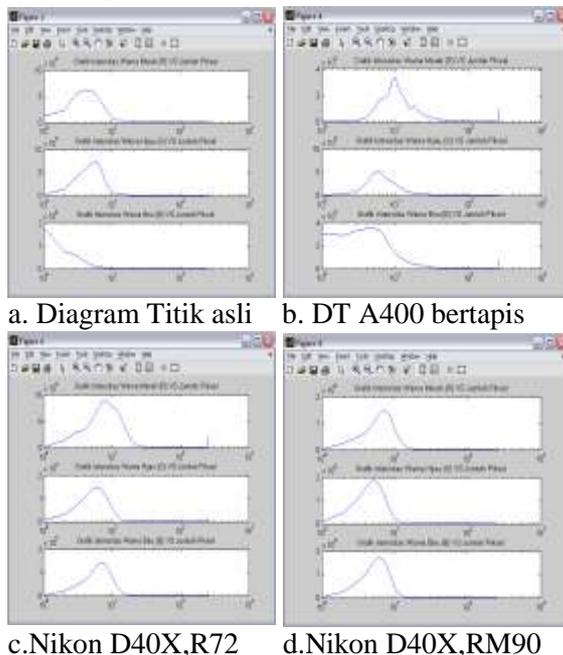
Gambar 8. Diagram titik tapis film H/P cuci 27000 Lux

Hal ini terjadi dikarenakan cahaya yang ditangkap menggunakan penapis Hoya RM90 merupakan *false color*, sehingga walaupun warna yang diperlihatkan dari gambar cenderung merah, tapi tidak terlihat saat dilakukan simulasi sehingga dihasilkan diagram titiknya. Sebaran ke arah warna dari warna gelap/hitam lebih banyak pada unsur warna merahnya. Hal-hal yang jelas berbeda dengan gambar yang dihasilkan menggunakan kamera Finepix A400 dengan penapis negatif film hitam putih yang dilakukan pencucian.

Untuk itu perlu dilakukan penapisan yang lebih baik terhadap cahaya yang dipancarkan objek lampu agar data hasil percobaan menggunakan kamera digital Finepix A400 lebih memiliki kesamaan dengan data hasil percobaan menggunakan kamera Nikon D40X.

Hasil penelitian menggunakan penapis negatif film warna dengan pencucian

Untuk pembakaran 20200 Lux

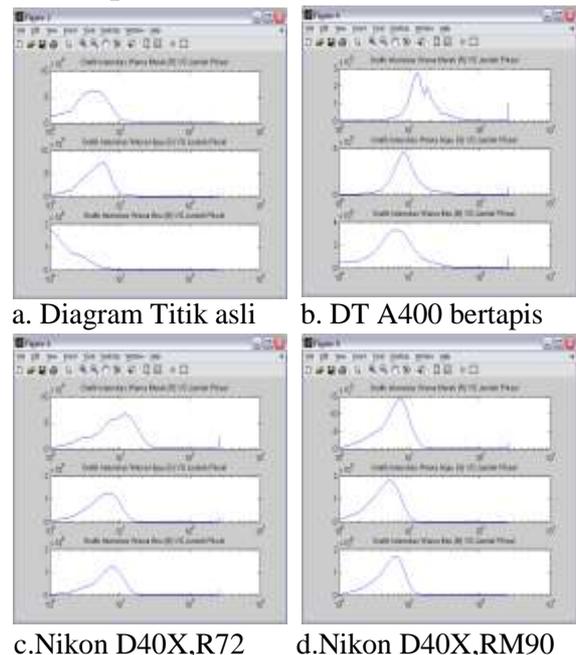


Gambar 9. Diagram titik tapis negatif film warna cuci 20200 Lux.

Jika dianalisa dari hasil simulasi gambar menggunakan perangkat lunak Matlab berupa diagram titik, juga sudah terlihat kesamaan pada sebaran titik-titiknya. Sebaran titik-titik tersebut banyak terdapat pada daerah gelap baik pada unsur warna merah (R), hijau (G), (B). Namun kita dapat melihat bahwa sebaran titik-titik pada warna merah lebih dominan dan memiliki intensitas paling tinggi pada titik 255. Semakin besar pembakaran terhadap negatif film, sebaran gelap yang terjadi semakin mendekati gambar yang didapatkan dari penapis Hoya R72. Tetapi dalam hal ini, yang lebih penting adalah

kemampuan penapis untuk memantulkan semua cahaya tampak dan melewatkan cahaya inframerah sebanyak-banyaknya.

Untuk pembakaran 69500 Lux



Gambar 10. Perbandingan diagram titik tapis negatif film warna cuci 69500 Lux.

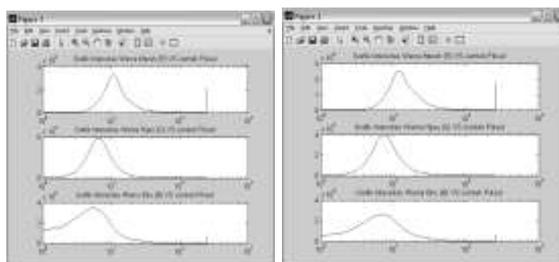
Jika ditinjau dari setiap negatif film warna setelah pencucian yang digunakan sebagai penapis, terlihat bahwa dari sebaran titik di daerah intensitas 255 untuk warna merah, yang paling baik didapat pada penapis dengan pembakaran sebesar 20200 lux. Dilihat dari gambar 10 yang dihasilkan sudah hampir sama dan pada diagram titiknya, sebaran titik pada intensitas 255 untuk warna merah cukup tinggi, warna hijau tidak ada, dan pada warna biru walaupun masih melewatkan pada intensitas 255, hanya sebaran gelapnya relatif paling rendah. Jika dilakukan perbandingan gambar hasil kamera Finepix A400 menggunakan penapis negatif film warna dengan gambar hasil kamera Nikon D40X dengan penapis Hoya RM90, tidak ada kesamaan yang terlihat pada tiap-tiap pembakaran.

Hal tersebut cukup untuk membuktikan kesamaan dari masing-masing penapis

yang digunakan pada tiap-tiap kamera. Untuk itu perlu dilakukan analisa lebih lanjut dengan hanya menggunakan penapis yang telah dipilih, yaitu penapis negatif warna yang telah dilakukan pencucian dan dilakukan perbandingan dengan penapis yang paling dekat nilai kesamaannya pada kamera Nikon D40X yaitu penapis Hoya R72. Jika dilihat pada sebaran warnanya, terutama pada unsur warna merah, terlihat bahwa semakin besar nilai pembakaran negatif film, semakin kecil intensitas warnanya yang terlihat pada diagram titiknya. Sehingga untuk penelitian selanjutnya, digunakan penapis negatif film warna dengan pencucian yang paling rendah pembakarannya, yaitu yang memiliki pembakaran 20200 Lux.

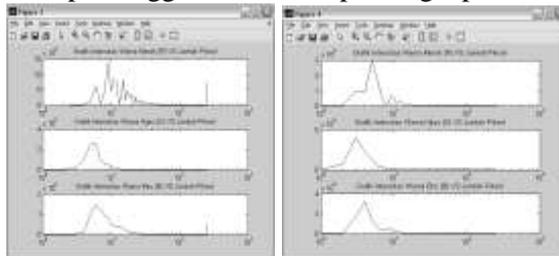
C. Hasil penelitian menggunakan penapis yang telah ditentukan.

Pada suhu 42°C



1. Tapis tunggal

2. Tapis rangkap



3. Nikon D40X, R72

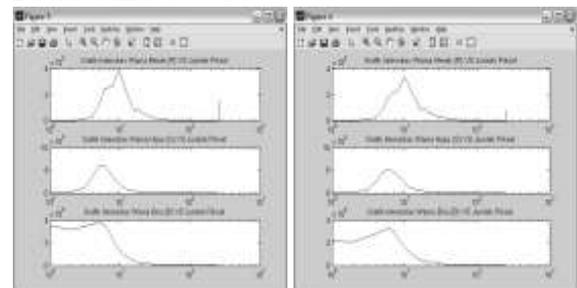
4. Nikon D40X, RM90.

Gambar 11. Perbandingan diagram titik tapis negatif film warna cuci 42°C .

Sebaran warna pada Gambar 11 yang dihasilkan cenderung ke arah gelap/hitam. Sebaran warna gelap pada gambar yang dihasilkan dari kamera Finepix A400 lebih teratur membentuk parabola jika dibandingkan dengan diagram titik dari

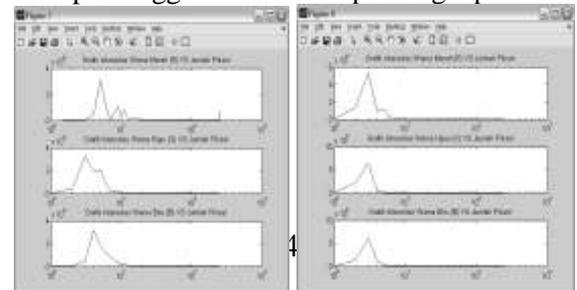
gambar yang dihasilkan oleh kamera Nikon D40X. Namun jika kita ambil titik-titik puncak dari diagram (3) yang merupakan diagram dari gambar yang dihasilkan oleh kamera Nikon D40X dengan penapis Hoya R72 dan ditarik sebuah garis, maka akan menyerupai diagram (1) yang merupakan diagram dari gambar yang dihasilkan oleh kamera Finepix A400 dengan penapis negatif film tunggal. Kesamaan juga terlihat dari terdapatnya titik yang tinggi pada intensitas warna merah ke 255 yang merupakan daerah intensitas warna merah yang paling terang dan titik yang lebih rendah pada intensitas warna biru. Sedangkan pada intensitas warna hijau tidak terdapat intensitas yang tinggi dan hanya sebaran gelapnya saja yang terlihat. Untuk diagram titik gambar hasil dari penapis Hoya RM90, pada masing-masing warna RGB hanya terlihat intensitas gelapnya saja. Perbedaan terdapat pada jumlah piksel yang dihasilkan pada masing-masing gambar.

Pada suhu 57°C .



1. Tapis tunggal

2. Tapis rangkap



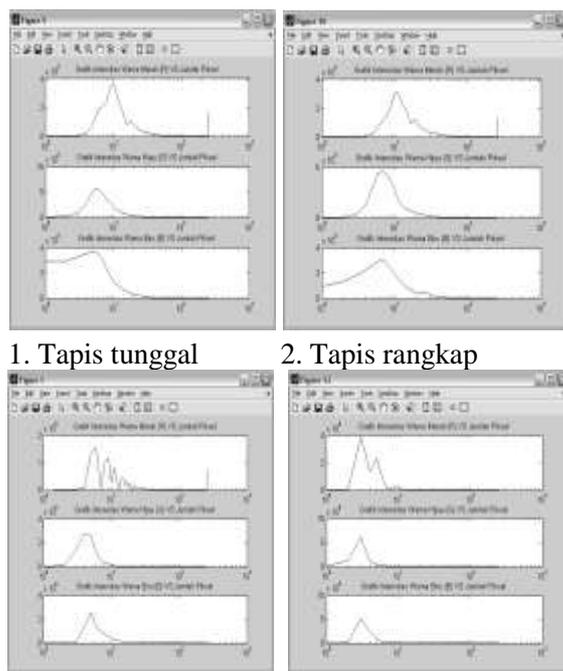
3. Nikon D40X, R72

4. Nikon D40X, RM90.

Gambar 12. Perbandingan diagram titik tapis negatif film warna cuci 57°C .

Kesamaan terlihat dari adanya intensitas warna tertinggi yaitu pada intensitas ke 255 yang terdapat pada warna merah saja untuk setiap gambar kecuali yang dihasilkan oleh RM90 yang tidak memiliki intensitas warna yang tinggi. Intensitas hanya terdapat di sekitar daerah gelap/hitam saja. Perbedaan terlihat dari sebaran gelapnya pada masing-masing warna RGB yang mana sebaran titik warna merah pada gambar hasil kamera Finepix A400 lebih teratur jika dibandingkan dengan gambar hasil dari kamera Nikon D40X dan jumlah piksel dari gambar yang dihasilkan. Namun kesamaan juga terlihat pada bagian warna merah (R) yang memiliki sebaran gelap yang paling luas dibandingkan dengan sebaran gelap pada warna hijau (G) dan biru (B).

Pada suhu 82° C



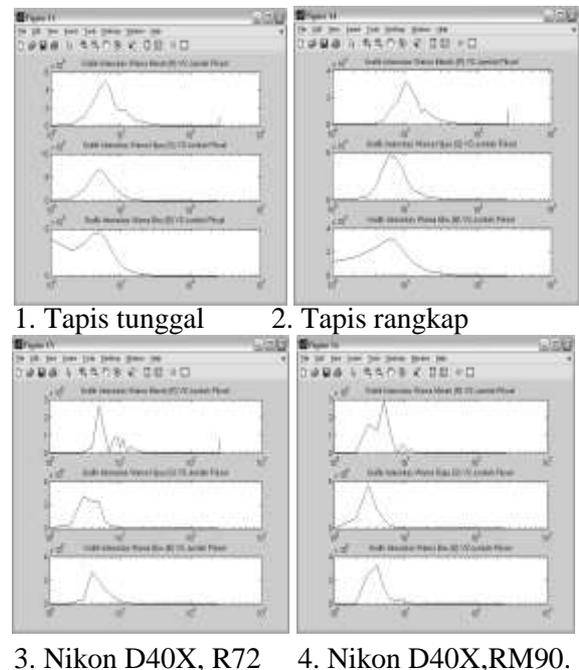
1. Tapis tunggal 2. Tapis rangkap
3. Nikon D40X, R72 4. Nikon D40X, RM90.

Gambar 13. Perbandingan diagram titik tapis negatif film warna cuci 82° C.

Dilihat dari diagram titik hasil simulasi dari gambar-gambar tersebut, terlihat adanya perbedaan pada sebaran pada warna gelap yang terlihat lebih dominan

pada masing-masing warna pada tiap-tiap gambar. Untuk diagram titik hasil simulasi gambar dari kamera Nikon D40X, sebaran gelapnya tidak begitu teratur terutama yang memakai penapis Hoya R72 jika dibandingkan dengan diagram titik dari kamera Finepix A400 dengan penapis negatif film baik tunggal maupun rangkap. Kesamaan justru terlihat dari adanya intensitas yang tinggi pada titik intensitas 255 untuk warna merah, sedangkan pada warna hijau dan biru telah tertapis dengan baik sehingga tidak terdapat titik intensitas yang tinggi. Untuk diagram titik dari gambar yang dihasilkan penapis Hoya RM90, tidak terdapat intensitas yang tinggi pada masing-masing warnanya (RGB).

Untuk 94° C



1. Tapis tunggal 2. Tapis rangkap
3. Nikon D40X, R72 4. Nikon D40X, RM90.

Gambar 14. Perbandingan diagram titik tapis negatif film warna cuci 94° C.

Jika dilihat dari diagram titik Gambar 14, perbedaan terdapat pada sebaran gelapnya dimana penyebaran titiknya lebih rapat pada hasil dari kamera Finepix A400 jika dibandingkan dengan hasil gambar dari kamera Nikon D40X. Persamaan dapat terlihat dari adanya intensitas warna yang

tinggi pada warna merahnya saja, yaitu pada daerah 255 yang terdapat pada hasil simulasi gambar dari kamera Finepix A400 dengan penapis negatif film dan kamera Nikon D40X dengan penapis Hoya R72, sedangkan untuk warna biru dan hijau tertapis dengan baik sehingga hanya warna gelap saja yang terbaca. Hal ini juga dikarenakan karakteristik dari penapis RM90 itu sendiri yang melewatkan cahaya yang memiliki panjang gelombang di atas 750 nm yang berarti tidak ada lagi cahaya tampak yang dilwatkan oleh penapis Hoya tersebut.

Dari semua data yang telah didapat, terlihat bahwa diagram titik yang lebih mendekati sama antara kamera Nikon D40X dengan kamera Finepix A400 adalah penapis negatif film warna tunggal yang telah dicuci dan yang memiliki kesamaan yang paling baik adalah saat suhu lampu mencapai 42° . Hal ini terlihat pada sebaran titik pada diagram titik dan gambar hasil dari kamera Finepix A400 yang hampir menyerupai gambar dari kamera Nikon D40X, serta memiliki sebaran gelap dan tingkat intensitas yang paling tinggi pada warna merah dan mendekati dari intensitas warna merah pada kamera Nikon D40X.

E. Kesimpulan

Dari data-data serta analisa dan pembahasan yang dilakukan, didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Penapis negatif film yang paling baik untuk mengidentifikasi panas yaitu

negatif film warna yang telah dilakukan pencucian dengan besar pembakaran 20200 Lux.

2. Gambar yang diperoleh serta hasil pengolahan dari kamera Finepix A400 dengan penapis negatif film mendekati hasil yang diperoleh dari kamera Nikon D40X dengan penapis Hoya dengan tipe R72
3. Penapis Hoya R72 masih dapat melewatkan sedikit cahaya tampak sedangkan penapis Hoya RM90 tidak melewatkan cahaya tampak sama sekali.
4. Semakin besar nilai pembakaran pada negatif film, maka semakin kecil nilai intensitas warna merah yang terlewatkan oleh penapis.

Daftar Pustaka

- [1] Sugiarto, A. *Istilah Fotografi*. 2006. diakses 17 Oktober 2008 <http://ojay.multiply.com/journal/item/4>
- [2] Erlina, T. *Fotografi Inframerah*. diakses 8 Februari 2008. http://wss-id.org/blogs/terry_erlina_sby/archive/2007/09/23/fotografi-inframerah.aspx
- [3] Gribbin, J. 2002. *Fisika Kuantum*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Wijaya, M.Ch. dan Agus Prijono. 2007. *Pengolahan Citra Digital Menggunakan Matlab*. Bandung: Informatika