

Deteksi Api dengan *MultiColorFeatures*, *Background Subtraction* dan *Morphology*

**Guruh Fajar Shidik¹, Fajrian Nur Adnan², Ricardus Anggi Premunendar³,
Catur Supriyanto⁴, Pulung Nurtantio Andono⁵**

Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang 50131

*E-mail : ¹ guruh.fajar@research.dinus.ac.id, ² fajrian@research.dinus.ac.id, ³ ricardus.anggi@research.dinus.ac.id,
⁴ catur@research.dinus.ac.id, ⁵ pulung@research.dinus.ac.id*

ABSTRAK

Pentingnya deteksi api secara dini dapat membantu memberikan peringatan serta menghindari bencana yang menyebabkan kerugian ekonomi dan kehilangan nyawa manusia. Teknik deteksi api dengan sensor konvensional masih memiliki keterbatasan, yakni memerlukan waktu yang cukup lama dalam mendeteksi api pada ruangan yang besar serta tidak dapat bekerja di ruangan terbuka. Penelitian ini mengusulkan metode deteksi api secara visual yang dapat digunakan pada camera surveillance dengan menggunakan kombinasi Multicolorfeatures seperti RGB, HSV, YCbCr dan Background Subtraction serta morphology untuk pendeteksian pergerakan api. Evaluasi penelitian dilakukan dengan menghitung tingkat error deteksi area api.

Kata kunci : Background Subtraction, RGB, HSV, YcbCr, Deteksi Api.

1. PENDAHULUAN

Api merupakan sumber energi yang dapat berpotensi menyebabkan kerugian, baik secara ekonomi maupun secara ekologi yang dapat merenggut korban jiwa. Berdasarkan data Badan Pantauan Bencana Nasional (BPNN) setidaknya telah terjadi 55 kali kebakaran di daerah DKI Jakarta pada tahun 2012 dimana kerugian terbesar menyebabkan 394 rumah terbakar dan 1271 jiwa kehilangan tempat tinggal [1].

Pentingnya pendeteksian api secara dini menurut Garcia[2] dapat membantu memberikan peringatan dan menghindari bencana yang menyebabkan kerugian ekonomi dan kehilangan nyawa manusia. Telah banyak teknik pendeteksian kebakaran secara dini yang telah dilakukan, diantaranya dengan cara konvensional dimana pendeteksian api didasarkan pada sample partikel, temperature, rata-rata kelembapan, analisis asap menggunakan detektor ultraviolet dan infrared [3][4]. Pendeteksian api dengan cara konvensional, memiliki karakteristik hanya mendeteksi partikel yang dihasilkan oleh asap maupun api dengan cara ionisasi dan photometry hanya pada suatu titik. Kelemahan deteksi dini menggunakan alat ini ialah memerlukan waktu yang cukup lama pada ruangan yang besar serta tidak dapat bekerja pada ruangan terbuka[5]. Detektor kebakaran dengan cara konvensional tidak mampu memberikan informasi tambahan mengenai terjadinya proses kebakaran seperti posisi titik api dari sensor, ukuran api, dan seberapa besar api bertambah. Sensor konvensional ini juga terkadang memberikan kesalahan deteksi (false alarm) yang tinggi karena tidak hanya api yang menyebabkan kebakaran juga ikut terdeteksi [6].

Untuk mendeteksi api secara dini dengan lebih baik dapat dilakukan dengan cara visual[6]. Deteksi kebakaran visual dapat berguna dalam kondisi dimana detektor api konvensional tidak dapat bekerja[7]. Keuntungan yang didapat dari pemanfaatan deteksi api berdasarkan visual sensor ialah biaya yang murah karena hanya menggunakan kamera standard, dimana pemanfaatan kamera ini telah banyak dipasang dan digunakan untuk keamanan gedung. Selanjutnya ialah respon dalam mendeteksi api lebih cepat karena tidak perlu menunggu sampai api membesar. Kemampuan untuk memantau area yang cukup besar dan jauh. Selain itu, deteksi api dengan kamera juga memudahkan pengecekan ketika terjadi kesalahan deteksi (*false alarm*), sehingga petugas dapat melakukan pengecekan dan konfirmasi tanpa harus menuju lokasi kebakaran[8].

Penelitian pendeteksian api secara visual dapat dilakukan dengan memanfaatkan kamera yang telah ada saat ini, dimana teknik dasarnya ialah membedakan citra yang direkam setiap *frame*. Penelitian sebelumnya didalam *imageprocessing* terklasifikasi menjadi dua, yang salah satunya fokus kepada citra berwarna[9], [10],[11], [12], [13], [14] dan lainnya pada citra *gray scale* [15],[16],[17].

Penelitian ini mengembangkan metode pendeteksian api untuk deteksi dini kebakaran menggunakan *Multicolorfeatures* seperti RGB, HSV, YCbCr yang akan digunakan untuk membangun rules dalam segmentasi titik api, selanjutnya dikombinasikan dengan *Background Subtraction* dan *morphology*. Pada tahap akhir penelitian dievaluasi dengan menghitung tingkat error deteksi untuk mengetahui keakuratan metode ini.

2. Dasar Teori

2.1. Penelitian Terkait

Penelitian seputar deteksi api telah lama dilakukan. Beberapa pendekatan telah dikembangkan guna mendapatkan informasi mengenai keberadaan api yang memungkinkan terjadinya kebakaran. Sebagian besar penelitian mengenai sistem deteksi api lebih terfokus pada deteksi warna yang dapat dilakukan dengan menggunakan *colorimage*[9], [10], [11], [12], [14], [13], maupun pada format *gray scale image*[15], [17], [16]. Penelitian[18] telah melakukan penelitian mengenai deteksi api dengan menggunakan dua fitur utama dari sebuah rekaman video, yaitu fitur warna dan pergerakan (*motion*). Penelitian tersebut dilakukan dalam tiga tahapan utama. Untuk melakukan proses deteksi api, data yang awalnya berupa video perlu diurai kedalam bentuk frame. Tahap yang kedua adalah ekstraksi dan klasifikasi warna dengan menggunakan perceptron. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk mendapatkan true positive rate yang tinggi dan tingkat false negative rate yang rendah. Dalam melakukan deteksi api, klasifikasi warna sangat diperlukan. Selain itu, deteksi pergerakan juga diperlu dilakukan dengan menggunakan analisis teksur dinamis antar frame. Penelitian yang lain seputar deteksi api juga dilakukan oleh Patel [19] dengan menggunakan dua fitur utama yaitu warna dan pergerakan objek. Namun perbedaannya, deteksi api dilakukan bukan dalam bentuk gambar RGB, tapi dalam bentuk CIE. Sedangkan deteksi pergerakan objek dilakukan dengan menggunakan teknik *Background Subtraction*. Berikutnya Yadev [20], melakukan penelitian deteksi api dengan menggunakan fitur warna, pencahayaan dan pergerakan. Pada peneliti tersebut, peneliti hanya menggunakan warna merah RGB untuk mendeteksi api dan warna *YCbCr* untuk mendeteksi pencahayaan gambar.

2.2. Background Subtraction

Background Subtraction merupakan suatu proses yang biasa digunakan untuk menemukan objek pada gambar. Konsep dari metode ini adalah mengidentifikasi sebuah keadaan untuk ditandai sebagai background model, selanjutnya membandingkan gambar terhadap model latar belakang yang telah diperoleh sebelumnya untuk mendeteksi keberadaan objek, yang dikenal dengan area *foreground*. Untuk mengidentifikasi keberadaan sebuah objek, biasanya teknik ini dilakukan pada dua buah citra yang diambil di lokasi yang sama pada waktu yang berbeda. Model Latar Belakang diperoleh dari area dengan situasi yang konsisten, namun tetap dapat beradaptasi dengan perubahan lingkungan. Tahap *foreground* detection dapat dikalkulasi dengan menggunakan perhitungan (1).

$$R(x,y)=I(x,y)-B(x,y) \quad (1)$$

Dimana R merupakan hasil dari pengolahan *Background Subtraction*, I merupakan Gambar yang diteliti mengenai keberadaan objek atau perubahan kondisi, sedangkan B merupakan Background Model. Perbandingan dilakukan pada posisi piksel (x,y) yang bersesuaian. Karena teknik ini harus mampu mentoleransi perubahan keadaan secara alami, maka perlu adanya nilai toleransi atau *threshold* untuk perubahan piksel yang tidak terlalu jauh. Perubahan yang masih dalam tahap toleransi akan dikenali sebagai kondisi yang tidak berubah, sedangkan nilai R yang lebih besar dari toleransi akan dikenali sebagai adanya perubahan kondisi yang dapat diakibatkan adanya sebuah objek.

2.3. Morphology Citra

Dalam konsep *Morphology* citra, terdapat dua operasi dasar yaitu dilasi dan erosi. Dilasi himpunan A oleh B dinotasikan seperti pada rumus (2). Dimana setiap titik x pada citra B ditranslasikan atau digeser dan kemudian menggabungkan seluruh hasilnya. Operasi ini merupakan tahap penggabungan titik-titik bernilai 0 menjadi bagian dari objek A yang bernilai 1 berdasarkan nilai B yang digunakan.

$$D(A,S) = A \oplus B \quad (2)$$

Erosi himpunan A oleh B dinotasikan seperti rumus (3). Operasi ini merupakan tahap penghapusan titik-titik objek A yang bernilai 1 menjadi bagian dari latar yang bernilai 1 berdasarkan nilai B yang digunakan. Erosi biasa digunakan untuk memper sempit daerah yang diinginkan dengan pola tertentu.

$$A \otimes B \quad (3)$$

Dari dua operasi dasar tersebut, dapat pula dikombinasikan menjadi beberapa operasi yang alin seperti operasi *Opening*, *Closing*, *Thinning*, *shrinking*, *pruning*, *thickening*, dan *skeletonizing*.

2.4. Feature Color

2.4.1. RGB

Ruang warna red, green, blue yang sering disebut dengan RGB merupakan konsep pewarnaan dengan menggunakan tiga warna primer yaitu merah, hijau dan biru, yang menyusun terbentuknya warna yang lain. Ruang warna RGB sering digunakan

dalam penelitian di bidang komputer grafik. RGB direpresentasikan dalam diagram Cartesian 3 dimensi, dimana perpaduan nilai antara ketiganya akan membentuk warna yang berbeda seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1: Tabel Komposisi warna RGB

Warna	Putih	Kuning	Cyan	Hijau	Magenta	Merah	Biru	Hitam
R (0-255)	255	255	0	0	255	255	0	0
G(0-255)	255	255	255	255	0	0	0	0
B(0-255)	255	0	255	0	255	0	255	0

Meskipun RGB sangat baik digunakan dalam komputer grafik, namun RGB sangat tidak efisien untuk merepresentasikan citra nyata. Untuk merepresentasikan ke dalam ruang warna yang berbeda, RGB dapat ditransformasikan dengan menggunakan transformasi linier maupun nonlinier.[21]

2.4.2. HSV

HSV merepresentasikan ruang warna yang lain dari RGB, dalam tiga dimensi yaitu Hue (hijau), Saturation (hijau tua), dan Value (pencahayaannya atau intensitas). Ruang warna HSV berbasis pada cylindrical coordinates. Ruang warna HSV lebih baik dibandingkan RGB dalam merepresentasikan pandangan manusia dan mendiskripsikan sensasi warna. Ruang warna hsv memiliki rentang warna 0 sampai dengan 1 yang dapat diperoleh dari transformasi RGB dengan menggunakan rumus transformasi nonlinier seperti ditunjukkan pada (4-7)[22].

$$H = \begin{cases} \theta & \text{jika } b \leq g \\ 360^\circ & \text{jika } b > g \end{cases} \tag{4}$$

dimana $\theta = \cos^{-1} \frac{\frac{1}{2}[(r-g)+(r-b)]}{[(r-g)^2+(r-b)(g-b)]^{1/2}}$ (5)

$v = \max(r, g, b)$ (6)

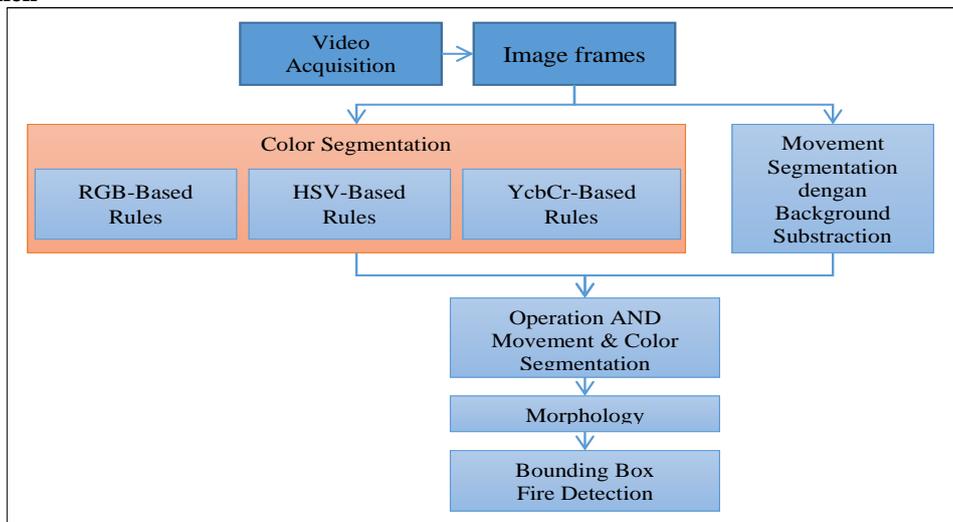
$s = (v - \min(r, g, b))/v$ (7)

2.4.3. YCbCr

Ruang warna YcbCr terdiri dari komponen luma (Y) yang menyatakan terang atau kecerahan dari sebuah citra, dan dua komponen chroma (Cb dan Cr) yang menyatakan warna dari citra. Transformasi RGB ke ruang warna YcbCr dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut (8).

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.257 & 0.504 & 0.098 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \\ 0.439 & -0.368 & -0.071 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \tag{8}$$

Eksperimen



Gambar 1. Tahapan Eksperimen

3.1. Video Acquisition

Pada tahap ini peneliti menggunakan dataset video, berasal dari penelitian sebelumnya yaitu *KMU Fire & Smoke Database*: (<http://cvpr.kmu.ac.kr/Dataset/Dataset.htm>), *Bilkent EE Signal Processing group*: (<http://signal.ee.bilkent.edu.tr/VisiFire/Demo/SampleClips.html>) dan *Fire Research Laboratory's Fire Research Division at NIST*: <http://fire.nist.gov/>. Format video yang digunakan dalam penelitian ini memiliki standard AVI, FLV dan MPG, serta memiliki jumlah *sample video* minimal sebanyak 300 frame.

3.2. Image Frames

Pada tahap ini seluruh sample dataset video diekstrak menjadi *sample image frame*. Dimana jumlah *frame* yang ekstrak berjumlah 24 – 30 frame per detik. Setelah proses ekstraksi video selesai dilakukan, masing- masing *image* diproses untuk menghasilkan segmentasi berdasarkan fitur warna dan dari pergerakan tiap *frame*.

3.3. Color Segmentation

Pada proses segmentasi warna, peneliti menggunakan tiga fitur yang diambil dari beberapa *color space* sebagai pembentuk *Multifeature* yakni RGB, HSV dan YcbCr. Masing –masing *color space*, dibentuk menjadi sebuah rules yang kemudian digunakan sebagai *Multifeature* yang digunakan sebagai *rules* pada proses segmentasi, sehingga pada akhirnya akan menghasilkan satu segmentasi yang disebut *MultiColorfeature segmentation*.

- Pada *color space* RGB deteksi api dilakukan dengan menggunakan rule sebagai berikut

$$\text{If } \begin{aligned} &r(i,j) > g(i,j) \ \&\& \ g(i,j) > b(i,j) \ \&\& \ (r(i,j) > 200 \ \&\& \ g(i,j) > 130 \ \&\& \\ &b(i,j) < 150 \end{aligned} \quad = 1 \quad (9)$$

- Pada *color space* HSV akan diambil saturation dari citra, yang merupakan ciri dari api dengan menggunakan rule sebagai berikut.

$$\text{If } \begin{aligned} &h(i,j) \geq 0.13 \ \&\& \ h(i,j) < 0.46 \\ &\ \&\& \ s(i,j) \geq 0.1 \ \&\& \ s(i,j) \leq 0.34 \ \&\& \ v(i,j) \geq 0.96 \ \&\& \ v(i,j) \leq 1 \end{aligned} \quad = 1 \quad (10)$$

- Fitur yang terakhir adalah YCbCr. Dengan memanfaatkan area yang dideteksi sebagai level Luminance, yang digunakan untuk membedakan level luminance antara titik api dengan objek lainnya yang juga bercahaya.

$$\text{If } \begin{aligned} &r(i,j) > g(i,j) \ \&\& \ g(i,j) > b(i,j) \ \&\& \ y(i,j) \geq 226 \ \&\& \\ &y(i,j) < 229 \ \&\& \ cb(i,j) \geq 127 \ \&\& \\ &cb(i,j) \leq 129 \ \&\& \ cr(i,j) \geq 127 \ \&\& \ cr(i,j) \leq 129 \end{aligned} \quad = 1 \quad (11)$$

- Hasil dari ketiga rule tersebut, kemudian akan digabung menggunakan rumus (12) dibawah ini, sehingga menghasilkan segmentasi *MultiColorFeature*:

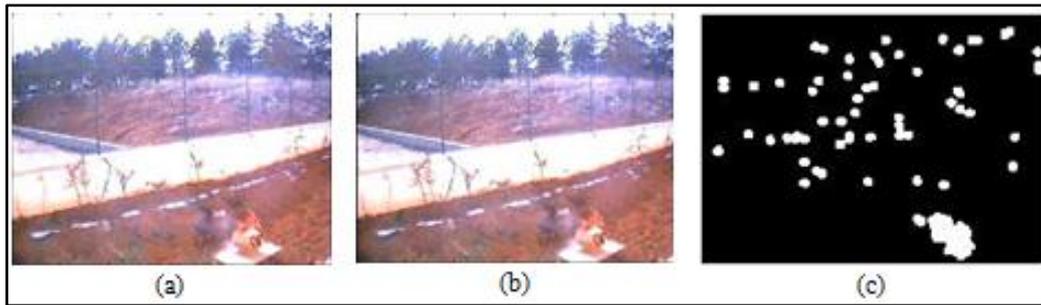
$$R4 = R1 \cup R2 \cup R3 \quad (12)$$



Gambar 2. (a). Frame dari Citra asal, (b). Hasil Segmentasi *MultiColorFeature*

3.4. Movement Segmentation

Pada tahap *Movement Segmentation* untuk mendeteksi pergerakan, peneliti menggunakan metode *Background Subtraction* dimana pada prinsipnya *image* disetiap frame akan dibandingkan dengan *frame* sebelumnya, untuk mendapatkan perubahan kondisi atau pergerakan objek yang terekam dalam video. Adapun rule untuk *Movement Segmentation* dengan menggunakan *Background Subtraction* dapat dilihat pada (13):



Gambar 3. (a). Frame dari Citra asal (n-1), (b). Frame dari Citra asal (n), (c). Hasil *Background Subtraction*

$$R5 = n - I(x,y) - n(x,y) \quad (13)$$

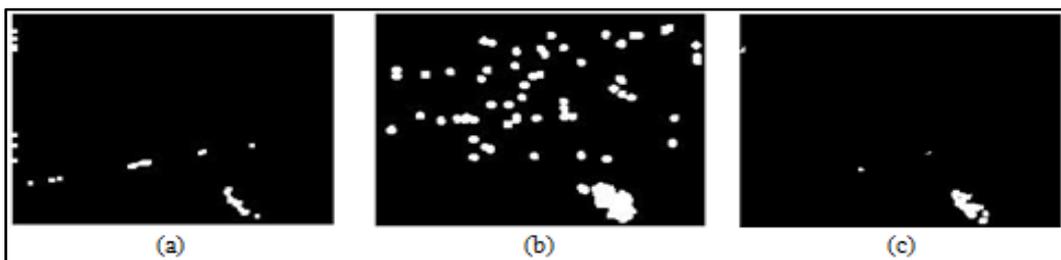
Dimana x dan y merupakan baris dan kolom dari matrix citra yang akan di deteksi pergerakannya, serta merupakan indeks dari *frame* citra.

3.5. Movement dan Color Segmentation

Pada tahap ini dilakukan proses untuk menghasilkan segmentasi area deteksi api, antara irisan dari hasil *Color Segmentation* dengan *Movement Segmentation*. Formula dibawah ini digunakan untuk memastikan objek api yang bergeraklah yang akan dideteksi sebagai titik api.

$$R6 = R4 \cap R5 \quad (14)$$

Rule ini juga digunakan untuk mendeteksi perubahan kondisi, dan memfilter objek yang bukan api dan memiliki fitur warna seperti api agar tidak ikut terdeteksi.



Gambar 4 (a). Hasil Segmentasi *MultiColorFeature*, (b). Hasil *Background Subtraction*, (c). Hasil Segmentasi Operasi AND dari proses (a) dan proses (b).

3.6. Morphology

Tahap terakhir adalah *morphology* untuk menegaskan hasil segmentasi, sehingga diperoleh gambar api yang lebih tepat serta menghilangkan titik area yang merupakan outlier atau bukan titik api juga ikut terdeteksi. Metode yang digunakan untuk *morphology* citra adalah *Erosion* dan *Closing*, sehingga bit yang merupakan *outlier* dapat diminimalisir serta pixel hasil segmentasi yang tidak terhubung bisa dihubungkan. Hasil proses *morphology* dapat dilihat pada Gambar 5(b).

3.7. Bounding Box Deteksi Api

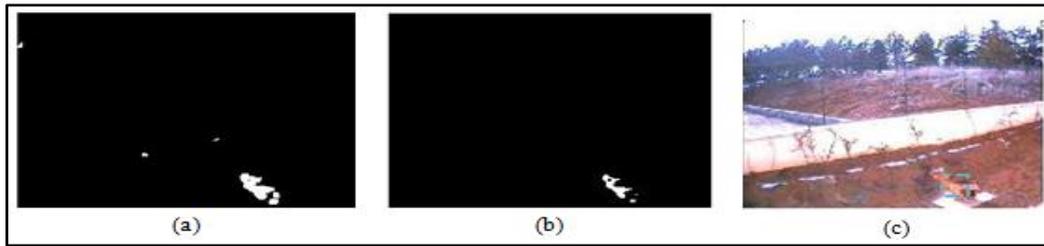
Pada tahap ini hasil segmentasi yang telah diperbaiki dengan proses morfologi dimana bit Region yang bernilai 1 dibuatkan penanda berupa kotak yang menunjukkan area yang telah terdeteksi sebagai titik api. Posisi kotak tersebut untuk kemudian disatukan dengan citra dari frame aslinya. Gambar 5(c) menunjukan pembuatan kotak *Bounding Box* pada area *frame* yang terdeteksi api.

Fungsi *Bounding Box* disini juga digunakan sebagai proses evaluasi dalam penelitian ini, sehingga tingkat error pendeteksian api dihitung berdasarkan area kotak titik api yang salah. Sehingga dapat terukur secara kuantitatif seberapa akurat metode ini.

4. Hasil dan Analisis

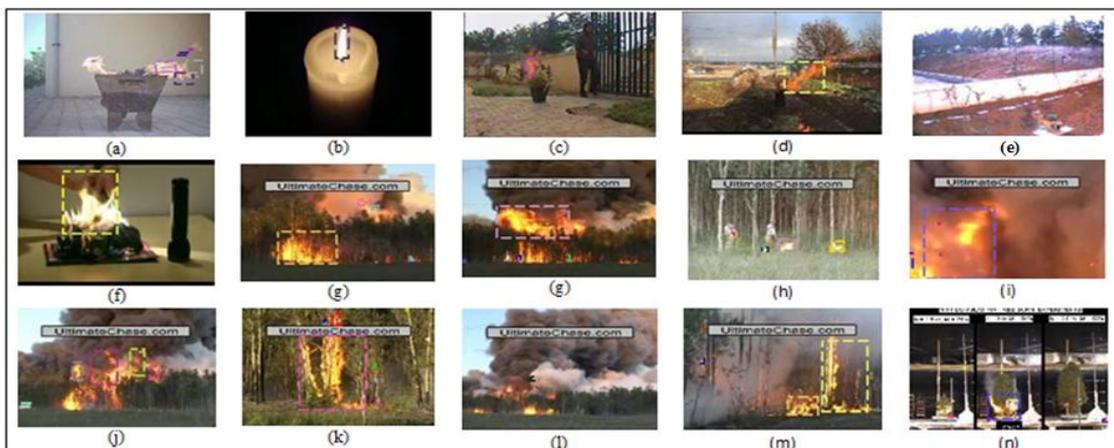
Pada bagian ini menjelaskan hasil performa dari model yang dibuat guna mendeteksi region api. Pengukuran performa secara quantitative menggunakan perhitungan yang berasal dari penelitian Lee [23] yang digunakan untuk pendeteksian region asap.

$$\text{Error Detection Avg} = \frac{N \text{ false detect}}{N \text{ Fire Spot Bounding Box}} \times 100\% \quad (15)$$



Gambar 5. a. Hasil dari *Movement & Color Segmentation* Sebelum Proses *Morphology*, (b). Hasil Segmentasi Setelah Proses *Morphology*, (c) Hasil *Bounding Box* area deteksi api dengan citra asli

Error Detection rate yang digunakan untuk evaluasi pada penelitian ini merupakan modifikasi dari penelitian Lee, karena pada penelitian tersebut terfokus pada *false alarm* guna pendeteksian titik asap. Pada penelitian ini evaluasi Lee dikembangkan untuk mengevaluasi ketelitian pendeteksian titik api pada citra dengan menghitung jumlah *Bounding Box* titik api (*Fire Spot Bounding Box*) pada citra frame tertentu, kemudian di hitung berapa jumlah spot yang salah dari total *Fire Spot Bounding Box* yang ditemukan. Detail perhitungan dapat dilihat pada rumus penghitungan (15).



Gambar6. Hasil Output Deteksi Api dengan Metode yang diusulkan

Tabel 2: Tabel Akurasi Deteksi Api dengan menggunakan Metode yang Diusulkan

Video Dataset Name	False Detect	Fire Spot Bounding Box	Deskripsi Dataset
Fire1	3	7	Pot Terbakar
Fire2	0	1	Lilin
Fire3	0	1	Tong Sampah terbakar
Fire4	0	2	Rumput terbakar
Fire5	1	3	Tong sampah diluar ruangan terbakar
Fire6	0	1	Kertas terbakar
Fire7	2	5	Hutan Terbakar versi 1
Fire8	1	5	Hutan Terbakar versi 2
Fire9	0	4	Hutan Terbakar versi 3
Fire10	0	2	Hutan Terbakar versi 4
Fire11	1	5	Hutan Terbakar versi 5
Fire12	1	6	Hutan Terbakar versi 6
Fire13	0	4	Hutan Terbakar versi 7
Fire14	0	5	Hutan Terbakar versi 8
Fire15	2	8	Hutan Terbakar versi 9
<i>Jumlah</i>	11	59	Pohon Cemara Terbakar

$$\text{Error Detection Avg} = \frac{11}{59} \times 100\% = 18,6\%$$

5. Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan, telah berhasil dalam melakukan deteksi titik api dengan tingkat *error* sebesar 18,6%. Adapun masalah utama penyebab tingkat *error* tersebut karena terdapat area yang bukan merupakan titik api, masih ikut terdeteksi sebagai titik api. Hal tersebut disebabkan oleh segmentasi *MultiColorfeatures* yang dijadikan rules belum maksimal. Sehingga masih terdapat warna – warna yang menyerupai titik api juga ikut terdeteksi. Penelitian selanjutnya agar menggunakan interval waktu sebagai pertimbangan untuk menekan tingkat *error* tersebut.

6. Referensi

- [1] Badan Pantauan Bencana Nasional, "Data Kejadian Bencana Kebakaran Permukiman," 2012. [Online]. Available: <http://geospasial.bnpb.go.id/pantauanbencana/data/datakbmukimall.php>.
- [2] L. M. Garcia, G. S. Perez, M. Nakano, K. T. Medina, H. P. Meana dan L. R. Cardenas, "An early fire detection algorithm using IP cameras.," *Sensors (Basel, Switzerland)*, pp. 12(5), 5670–86. doi:10.3390/s120505670, 2012.
- [3] W. G. T. Cleary, "Survey of fire detection technologies and system evaluation/certification methodologies and their suitability for aircraft cargo compartments," *US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology*, 1999.
- [4] K. N. W. Davis, "NASA fire detection study," *US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology*, 1999.
- [5] Z. Xu dan J. Xu, "Automatic Fire smoke Detection Based on *Image Visual Features*," 2007.
- [6] C. Kao dan S. Chang, "An intelligent real-time fire-detection method based on video processing," dalam *IEEE 37th Annual 2003 International Carnahan Conference on Security Technology*, 2003.
- [7] T. Celik, H. Demirel, H. Ozkaramanli dan M. Uyguroglu, "Fire detection using statistical *color* model in video sequences.," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, pp. 18(2), 176–185. doi:10.1016/j.jvcir.2006.12.003, 2007.
- [8] K. H. Cheong, B. C. Ko dan J. Y. Nam, "Automatic fire detection system using CCD camera and Bayesian Network," *SPIE Digital Library*, pp. Vol. 6813 68130S-1, 2008.
- [9] Y. C. L. M. a. A. Mecocci., "An Intelligent System For Automatic Fire Detection in Forests," dalam *3th International Conference on Image Processing and its Application*, 1989.
- [10] D. G. Healey, T. Slater, B. Lin, Drda dan A. D. Goedeke, "A System for Real Time Fire Detection," dalam *Conference on Computer vision and Pattern Recognition*, 1994.
- [11] H. Yamagishi dan J. Yamaguchi, "Fire Flame Detection Algorithm Using a *Color* Camera," dalam *International Symposium on Micromechatronics and Human Science*, 1999.
- [12] M. S. W Philips III dan N. d. V. Lobo, "Flame Recognition in Video," dalam *Fifth IEEE Workshop on Application of Computer Vision*, 2000.
- [13] W. B. Hong dan J. W. Peng, "Realtime Fire Detection from Video: A Preliminary Report," dalam *14th IPPR Computer Vision , Graphic and Image*, 2001.
- [14] B. C. Arrure, A. Olero dan J. R. M. d. Dios, "An Intelligent System for False Alarm Reduction in Infrared Forest Fire Detection," *IEEE Intelligent System*, pp. 64-70, 2000.
- [15] S. Noda dan K. Ueda, "Fire Detection in Tunnels Using an *Image* Processing Method," *Vehicle Navigation and Information System*, pp. 57-62, 1994.
- [16] S. Y. Foo, "A Machine Vision Approach to Detect and Categorize Hydrocarbon Fires in Aircraft Dry Bays and Engine Compartments," *IEEE Transaction on Industry Application*, pp. vol 36, no2, p549-466, 2000.
- [17] E. D. Breejen, "Autonomous Forest Fire Detection," dalam *third int'l conference Forest Fire Research*, Bellingham, 1998.
- [18] N. True, "Computer Vision Based Fire Detection".
- [19] T. Celik, "Fast and Efficient Method for Fire Detection Using *Image* Processing," *ETRI*, 2010.
- [20] P. Patel dan S. Tiwari, "Flame Detection using *Image* Processing Techniques," *International Journal of Computer Applications*, 2012.
- [21] J. Huajie, W. Lichun, S. Yanfeng dan H. Yongli, dalam *Fourth International Conference on Digital Home*, 2012.
- [22] X. Jie, H. Li-na, G. Guo-hua dan Z. Ming-quan, "Real *ColorImage* Enhanced by Illumination—R," dalam *International Conference on Information Technology and Computer Science*, 2009.
- [23] C. Y. Lee, C. T. Lin, C. T. Hong dan M. T. Su, "Smoke Detection Using SPATIAL AND Temporal Analyses," *International Journal of Inovative Computing, Information and Control*, Vol. %1 dari %2vol 8, no 7A, pp. 4749-4770, 2012.
- [24] G. Yadav, V. Gupta, V. Gaur dan M. Bhattacharya, "OPTIMIZED FLAME DETECTION USING *IMAGE* PROCESSING BASED TECHNIQUES," *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 2012.