

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENDETEKSI API PADA ROBOT PEMADAM API DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR API DAN KAMERA

DESIGN AND IMPLEMENTATION SYSTEM FIRE DETECTION ON FIRE FIGHTING ROBOT USING FIRE SENSOR AND CAMERA

Rivan Radian Suryadi¹, Inung Wijayanto,S.T.,M.T.², Angga Rusdinar,S.T.,M.T.,Ph.D.³ Prodi S1 Teknik

Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom ¹rivan180295@yahoo.com,

²Iwijayanto@telkomuniversity.ac.id, ³unangsunarya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Robot pemadam api adalah alat yang berfungsi untuk membantu manusia memadamkan api, dimana api merupakan proses oksidasi cepat terhadap suatu material yang memiliki bentuk cahaya (warna) dengan panjang gelombang dan panas. Karakteristik pada api tersebut dapat dijadikan parameter untuk pendeteksian (sensor) api pada rangkaian UVTRON, *thermal*, dan rangkaian sensor api lainnya. Selain menggunakan rangkaian sensor api, salah satu karakteristik pada api yaitu warna, dapat dideteksi dengan kamera yang diolah melalui library OpenCV.

Pada rancangan robot pemadam api sebelumnya, teknik pendeteksi api yang digunakan adalah penggabungan sensor api UVTRON dan *thermal*. Dimana UVTRON mendeteksi api dengan panjang gelombangnya yang khas dan *thermal* mendeteksi dengan suhu api. Penggabungan kedua sensor ini bekerja dengan UVTRON sebagai deteksi ada atau tidak ada nya api pada ruangan, karena keluaran UVTRON hanya digital yaitu 0 atau 1. Sedangkan *thermal* sebagai penentu bahwa titik api sudah ada di depan robot, dengan keluaran *thermal* adalah I2C. Teknik deteksi penggabungan 2 sensor ini cukup efektif, namun dikarenakan jangkauan deteksi *thermal* yang sempit menyebabkan robot terkadang melewatkan titik api. Hal ini dapat diatasi dengan menambahkan sistem pendeteksi api dengan *image processing* menggunakan kamera yang memungkinkan robot menentukan tepatnya posisi titik api.

Dalam tugas akhir ini, penulis menggabungkan rangkaian sensor api dengan kamera dan melihat perbandingan bila hanya menggunakan rangkaian sensor api saja, dan penggabungan kamera dengan rangkaian sensor api. Sehingga ditemukan cara yang mempunyai pendeteksian api lebih akurat, dan cepat dalam menemukan serta mematikan api. Penelitian pada Tugas Akhir ini telah berhasil membuat sistem yang menggabungkan image processing dan sensor pendeteksi api yang dimana tingkat akurasi pemadaman api jauh lebih baik yaitu 86.67% dibandingkan hanya flame sensor saja yang memiliki tingkat akurasi 80%. Dan memiliki kecepatan pemadaman api dengan waktu yang hampir sama, dimana PWM yang digunakan robot sebesar 90 pada setiap pengujian.

Kata kunci : UVTRON, *Thermal*, Color Detection, Image processing, PWM, OpenCV

Abstract

Fire Fighting robot is a tool that serves to help human extinguish the fire, where fire is rapid oxidation process against a material that has the shape of light (color) with wavelength and heat. The characteristics of the fire can be used as parameters for fire detection applied to UVTRON, thermal, and other fire sensor circuits. Another option to detect fire with fire sensor circuit, one of the characteristics on fire that is color, can be detected with camera processed through the OpenCV library.

In the previous fire fighting robot design, the fire detection technique used was the combination of UVTRON and thermal fire sensors. Where UVTRON detects fire with its typical wavelength and thermal detects with fire temperature. The integration of these two sensors works with UVTRON as the detection of presence or no fire in the room, because the output of UVTRON is only digital 0 or 1. While thermal as the determinant that fire point is already in front of the robot, with thermal output is I2C. The detection technique of combining these 2 sensors is quite effective, but due to the narrow thermal detection range cause the robot to sometimes miss the point of fire. This can be overcome by adding a camera image detection system that allows the robot to determine precisely the position of the fire point.

In this final project, writer combine the fire sensor circuit with the camera and see the comparison when only using a series of fire sensors only, and combine the camera with fire sensors. So that found a way that has more accurate fire detection, and quickly in finding and turning off the fire. The research on this final project has succeeded in creating a system that combines image processing and fire sensors in which the accuracy of fire extinguish is much better that is 86.67% compared to only flame sensor which has 80% accuracy level. And has a fire extinguish speed with almost the same time, where the PWM used robot for 90 in each test.

Key Word : UVTRON, Thermal, Color Detection, Image processing, PWM, OpenCV.

1. Pendahuluan

Robot pemadam api adalah alat yang membantu manusia untuk memadamkan api, dalam melakukan tugas ini robot pemadam api memerlukan alat pendeteksi api yang memiliki akurasi tinggi untuk mencari api. Alat pendeteksi yang biasa digunakan adalah rangkaian sensor api seperti UVTRON, *thermal*, *flame sensor* dan rangkaian sensor api lainnya. Rangkaian-rangkaian ini memanfaatkan karakteristik pada api, dimana api merupakan proses oksidasi cepat terhadap suatu material yang memiliki bentuk cahaya (warna) dengan panjang gelombang dan panas.

Karakteristik api ini diterapkan pada rangkaian sensor api, seperti UVTRON melihat panjang gelombang untuk mendeteksi adanya api. UVTRON bekerja dengan menggunakan *photoelectric* untuk mendeteksi ultraviolet yang dihasilkan oleh api, keluaran yang dihasilkan oleh UVTRON adalah *output* digital, dimana akan bernilai 0 (*LOW*) bila tidak ada api dan 1 (*HIGH*) bila ada api^[2]. Keunggulan UVTRON adalah jangkauan deteksi yang cukup lebar, sedangkan kelemahannya tidak dapat menentukan posisi titik api pada ruangan, mahal, dan gampang rusak. Selain pendeteksi api seperti UVTRON, sensor lainnya yang sering digunakan adalah sensor *thermal* dan *flame sensor*. Sensor ini memanfaatkan suhu panas dari api dan sekitarnya. Apabila *thermal* mendeteksi suhu lebih dari 29^o *thermal* akan mendeteksi bahwa ada api. *thermal* mempunyai 8 pixel untuk penyimpanan data suhu disekitarnya, misalkan pada 1 meter di ruangan dingin 12^oC pixel pada *thermal* mendeteksi 11 12 10 15 13 29 15 10 (semua dalam ^oC). Dengan adanya pixel dengan masing-masing berderajat 12^o, *thermal* dapat mengetahui dimana tepatnya posisi api^[1].

Selain pendeteksian api menggunakan sensor api, sebenarnya deteksi api dapat dilakukan dengan image processing yang dilakukan oleh library OpenCV melalui kamera. OpenCV menyediakan berbagai macam image processing untuk mendeteksi sebuah benda salah satunya adalah dengan mengenali warna benda. Dalam pendeteksian warna dengan kamera ini memiliki kelemahan hanya mendeteksi warna saja, tidak bisa mendeteksi suhu, namun memiliki keunggulan yaitu harga kamera yang lebih murah dibandingkan sensor UVTRON dan *thermal*, kemudian kamera dapat mengetahui dimana tepatnya posisi api dengan menggunakan pixel x dan y pada resolusi kamera. Dengan keunggulan ini, kamera dapat menambah keakuratan pendeteksian api bila sensor api ditambahkan kamera dikarenakan robot pemadam api dapat mengetahui titik api melalui mengintegrasikan kamera dan sensor api.

Dengan latar belakang tersebut penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul "Perancangan dan Implementasi sistem pendeteksi api pada Robot Pemadam Api dengan menggunakan Sensor api dan Kamera".

2. Dasar Teori

Pada dasar teori ini membahas teori penunjang yang penulis gunakan sebagai acuan dalam melakukan pengerjaan "Perancangan dan Implementasi Sistem pendeteksi api pada Robot pemadam api dengan menggunakan Sensor api dan Kamera"

2.1. Robot Pemadam Api

Robot merupakan Suatu alat yang dirancang secara khusus oleh manusia yang didalamnya terdapat *processor* dan kontroller yang difungsikan untuk tugas tertentu baik dikontrol langsung oleh manusia maupun ditanamkan kecerdasan buatan untuk melakukan fungsinya secara otomatis^[11]. Robot pemadam api mempunyai tugas khusus untuk memadamkan api, dimana api yang digunakan adalah api dari lilin. Robot pemadam api dapat bergerak sendiri dan melakukan kegiatannya sendiri, berdasarkan program yang telah ditanamkan di dalam chip-nya. Hal ini ditunjang dengan dukungan dari sensor-sensor yang disertakan pada robot tersebut.

Robot pemadam api memiliki daya tarik tersendiri sehingga banyak lomba-lomba robotika yang mengangkat tema pemadam api. Lomba-lomba ini memiliki penilaian dasar untuk menilai robot pemadam api yang terbaik di lombanya. Berikut penilaian dasar lomba pemadam api :

1. Kemampuan robot memadamkan api
2. Kecepatan Waktu pemadaman api

2.2. Raspberry Pi

Raspberry Pi merupakan salah satu jenis *Single Board Computer* (SBC) dimana pengertian SBC sendiri adalah perangkat komputer yang dikemas dalam sebuah PCB yang didalamnya terdapat microprocessor, memori serta antarmuka I/O. pada idealnya sebuah SBC mempunyai kemampuan sama dengan sebuah komputer pada umumnya hanya saja ukuran dari SBC jauh lebih kecil dari komputer pada umumnya. Pada awalnya SBC hanya difungsikan untuk pembelajaran, pemodelan sistem, serta kontrol khusus. Namun belakangan ini SBC difungsikan untuk aplikasi yang lebih rumit. Raspberry pi merupakan salah satu contoh SBC yang cukup terkenal dikalangan mahasiswa/pelajar dikarenakan raspberry pi yang mempunyai harga yang lebih terjangkau serta spesifikasi yang cukup memadai^[1]. Raspberry Pi digunakan pada Tugas Akhir ini karena spesifikasi yang disediakan oleh Raspberry Pi sesuai dengan kebutuhan penulis untuk Image Processing

2.3. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah chip yang berfungsi sebagai peranti kontrol yang digunakan sebagai kendali dari sistem tanaman. Mikrokontroler umumnya terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), memori, I/O tertentu dan unit pendukung seperti *Analog-to-Digital Converter* (ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya.

2.4. PuTTY

Putty adalah sebuah program open source yang dapat digunakan untuk melakukan *protocol* jaringan SSH, Telnet, dan Rlogin^[15]. Protokol ini dapat digunakan untuk menjalankan sesi *remote* pada sebuah komputer melalui jaringan, baik menggunakan LAN, maupun internet. Program ini banyak digunakan oleh para pengguna komputer tingkat menengah ke atas, yang biasanya digunakan untuk menyambungkan, mensimulasi, atau mencoba berbagai hal yang terkait dengan jaringan. Program ini juga dapat digunakan sebagai *tunnel* di suatu jaringan.

2.5. OpenCV

OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) adalah sebuah pustaka perangkat lunak yang ditujukan untuk pengolahan citra dinamis secara *real-time*, yang dibuat oleh Intel, Program ini bebas dan berada dalam naungan sumber terbuka dari lisensi BSD. Pustaka ini merupakan pustaka lintas platform. Program ini didedikasikan sebagaimana besar untuk pengolahan citra secara *real-time*. Jika pustaka ini menemukan pustaka *Integrated Performance Primitives* dari intel dalam sistem komputer, maka program ini akan menggunakan rutin ini untuk mempercepat proses kerja program ini secara otomatis^[16].

2.6. Webcam Logitech C170

Webcam adalah kamera yang biasa digunakan untuk keperluan rekam video atau mengambil citra, penulis menggunakan WebCam Logitech dikarenakan WebCam ini mempunyai spesifikasi yang sesuai dan harga lebih terjangkau. Berikut spesifikasi WebCam C170 :

2.7. Thermal

Thermal mendeteksi *infra-red* pada jarak 2um-22um, dimana panjang gelombang ini adalah gelombang panas. Jangkauan area deteksi *thermal* adalah sekitar 100° . *Thermal* dapat mendeteksi panas api dari lilin yang memiliki tinggi dua meter dan tidak terpengaruh oleh cahaya.

2.8. UVTRON

UVTRON adalah sebuah alat deteksi api yang menggunakan efek *photoelectric* dari gas dan metal. Dengan sensitifitas *spectral* mencapai 185 nm hingga 260 nm. Tidak seperti *Semikonduktor detector*, UVTRON tidak sensitif pada cahaya.^[2]

2.9. Pengambilan image RGB dan conversi ke HSV

Warna pada gambar api dapat di deteksi dengan melihat sifat warna api. Pada piksel terdapat 3 elemen warna yaitu: RGB atau Red, Green dan Blue. Tiga elemen warna tersebut dapat digunakan untuk deteksi warna, dimana dalam kasus pendeteksian api ini elemen warna yang lebih dominan adalah elemen R dimana relasi nilai dominan untuk warna api antara R, G dan B adalah sebagai berikut: $R > G$ dan $G > B$, sehingga nilai dominan dapat dituliskan $R > G > B$.^[5]

Namun elemen warna RGB mempunyai kelemahan, yaitu tidak memiliki informasi warna yang spesifik. Hal tersebut menyebabkan pendeteksian tidak bisa spesifik hanya mendeteksi warna khas api, dikarenakan apabila [255,20,25] dimana array adalah [R,G,B], terdapat perubahan warna menjadi [245,20,25] akan berubah warna nya dimana perubahan warna ini sangat berpengaruh pada pendeteksian. Untuk menghilangkan kekurangan tersebut kita dapat mengganti elemen warna RGB dengan elemen warna HSV yaitu. Hue, Saturation, dan Value. Dimana elemen warna HSV ini mempunyai informasi warna yang lebih banyak dan apabila nilai sedikit diubah tidak akan terlalu berpengaruh terhadap warna yang akan dideteksi..

Rumus pengkonversian RGB ke HSV dilakukan dengan pertama-tama membagi nilai R,G,B dengan 255 untuk mengubah range dari 0..255 menjadi 0..1:

$$R' = R/255 \quad G' = G/255 \quad B' = B/255 \quad (2.1)$$

Selanjutnya kita mencari nilai warna maksimum (Cmax) dan minimum (Cmin) dari RGB dan mencari selisih (Δ) dari kedua nilai tersebut untuk dimasukan pada rumus HSV.

$$C_{max} = \max(R', G', B') \quad C_{min} = \min(R', G', B') \quad \Delta = C_{max} - C_{min} \quad (2.2)$$

Perhitungan terhadap *Hue*:

$$\text{Hue} = \begin{cases} 0^\circ & \text{if } C_{max} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - G'}{\Delta} \right) & \text{if } C_{max} = G' \\ 120^\circ \times \left(\frac{R' - B'}{\Delta} \right) & \text{if } C_{max} = B' \end{cases} \quad (2.3)$$

Perhitungan terhadap *Saturation*:

$$S = \begin{cases} 0 & \text{if } \Delta = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}} & \text{if } \Delta \neq 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

Perhitungan pada *Value*:

$$V = C_{max} \quad (2.5)$$

2.12. Proposional Integral Derifatif (PID)

PID Merupakan suatu kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem dengan adanya feedback (umpan balik), digunakan dalam sistem pergerakan robot pemadam api Indonesia. Komponen PID terdiri dari 3 jenis, yaitu propotional, integral, dan derifatif. Ketiganya dapat digunakan secara bersamaan atau sendiri-sendiri. Ada 3 macam penggunaan PID yaitu sebagai berikut :

1. PI (Propotional Integral) dengan konstanta KP dan KI.
2. PD (Propotional Derifatif) dengan konstanta KP dan KD
3. PID (Propotional Integral Derifatif) dengan konstanta KP, KI, dan KD

2.13. Metode Image Processing

Pada penelitian ini kamera melakukan pendeteksian api dengan menerapkan beberapa metode *image processing* untuk mengenali api, berikut beberapa metode beserta penjelasannya:

1.1.1. Image Blurring

Citra atau gambar yang telah di ambil kamera perlu diburamkan agar informasi warna pada gambar akan menjadi sedikit dan menghilangkan noise. Hal ini memudahkan pengolahan citra untuk mengenali warna api. Proses pemburaman gambar ini didapatkan dengan mengkonvolusi gambar dengan *low-pass filter kernel*.

$$= \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

1.1.2. Changing Color-space

Citra yang telah diambil oleh kamera masih dalam elemen warna RGB, sehingga perlu dilakukan perubahan elemen warna menjadi HSV. Proses perubahan ini dapat dilakukan dengan menggunakan `cv2.COLOR_BGR2HSV` dimana citra RGB akan diubah menjadi HSV. Berikut contoh gambar pengolahan citra.

1.1.3. inRange

Api memiliki warna yang spesifik, sehingga api dapat di lacak dengan menentukan jarak warna api pada ranah HSV. Oleh karena itu diperlukan penentuan threshold HSV maksimum, dan HSV minimum, Sehingga citra yang didapat hanya warna api saja. Berikut contoh gambar pengolahan citra.

1.1.4. Image Moments

Image moments membantu mengkalkulasi titik tengah pada area dari suatu benda. Titik tengah didapat dengan relasi C_x dan C_y dimana rumusnya dapat dilihat pada rumus 3.2 dan rumus 3.3.

$$= \frac{M_{10}}{M_{00}} \quad (2.7)$$

$$= \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (2.8)$$

3. Perancangan Sistem

Pada Tugas Akhir ini dirancang sebuah sistem untuk mendeteksi api menggunakan kamera dan sensor api pada robot pemadam api, sistem ini membutuhkan mini PC Raspberry Pi dan AtMega 2560. Dimana Raspberry pi untuk mengolah image processing, dan AtMega 2560 untuk mengendalikan motor, dan sensor pendeteksi api seperti thermal.

3.1. Desain Sistem

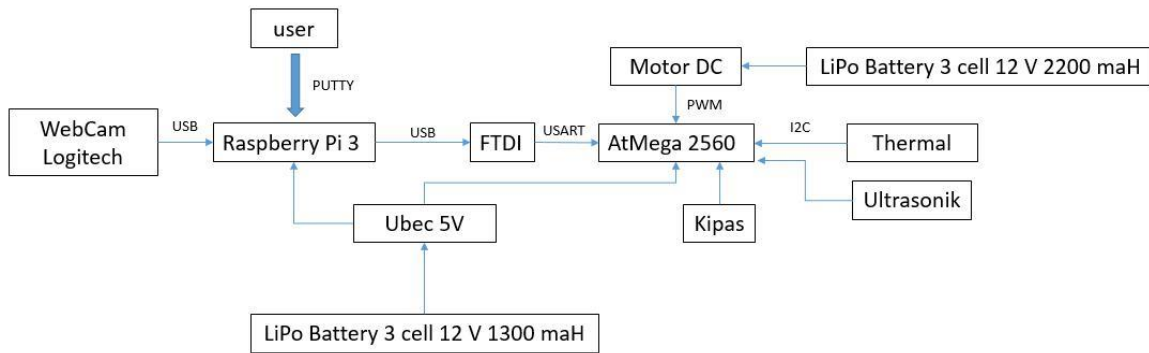
Pada “Perancangan dan Implementasi Sistem pendeteksi api pada Robot pemadam api dengan menggunakan Sensor api dan Kamera” ini meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Sistem menggunakan sensor api, dan kamera sebagai pendeteksi api berfungsi sebagai piranti masukan (*input*). Sedangkan pada bagian pemrosesan masukan data digunakan sebuah mikrokontroler AtMega 2560 dan Raspberry Pi 3 model B.

AtMega 2560 berfungsi memproses inputan dari sensor api, mengatur PID untuk pergerakan robot, dan mengontrol kipas untuk meniup ketika api berada di depan robot. Sedangkan Raspberry Pi 3 model B berfungsi memproses inputan dari kamera untuk dikomunikasikan dengan menghubungkan port GPIO raspi dan GPIO AtMega2560. Pada sistem ini AtMega 2560 dan Raspberry Pi dibutuhkan dan tidak bisa berjalan sendiri. Karena pemrosesan citra yang dilakukan oleh kamera dan *ultrasonik* dilakukan secara *real-time*, sedangkan AtMega 2560 dan raspi menjalankan programnya secara *sequential*. Sehingga diperlukan dua pemroses inputan, yaitu AtMega 2560 dan Raspi.

Pada sisi keluaran (*output*) sistem, terdiri dari 1 buah *dual driver motor H-Bridge*. Pada perancangan sistem keluaran ini driver motor terhubung dengan kedua motor DC. Driver motor ini difungsikan untuk mengatur kecepatan putaran motor DC yang berada pada bagian belakang robot.

3.2. Blok Diagram Sistem

Blok sistem pada perancangan robot pemadam api ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini:

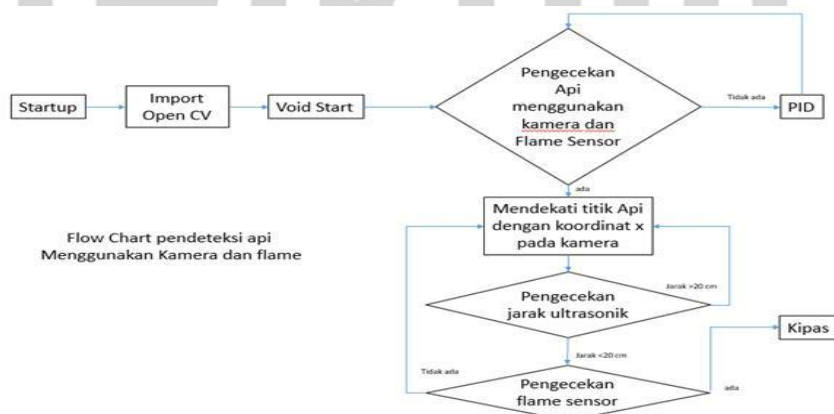


3.3. Algoritma Sistem Deteksi Api

Algoritma sistem deteksi api pada robot pemadam api akan dibuat dengan tiga desain yaitu dengan menggunakan kamera dan sensor api sebagai pendeteksi api, hanya menggunakan sensor api sebagai pendeteksi api, dan hanya menggunakan kamera sebagai pendeteksi api.

3.3.1. Algoritma Sistem Deteksi Api Kamera dan Sensor Api

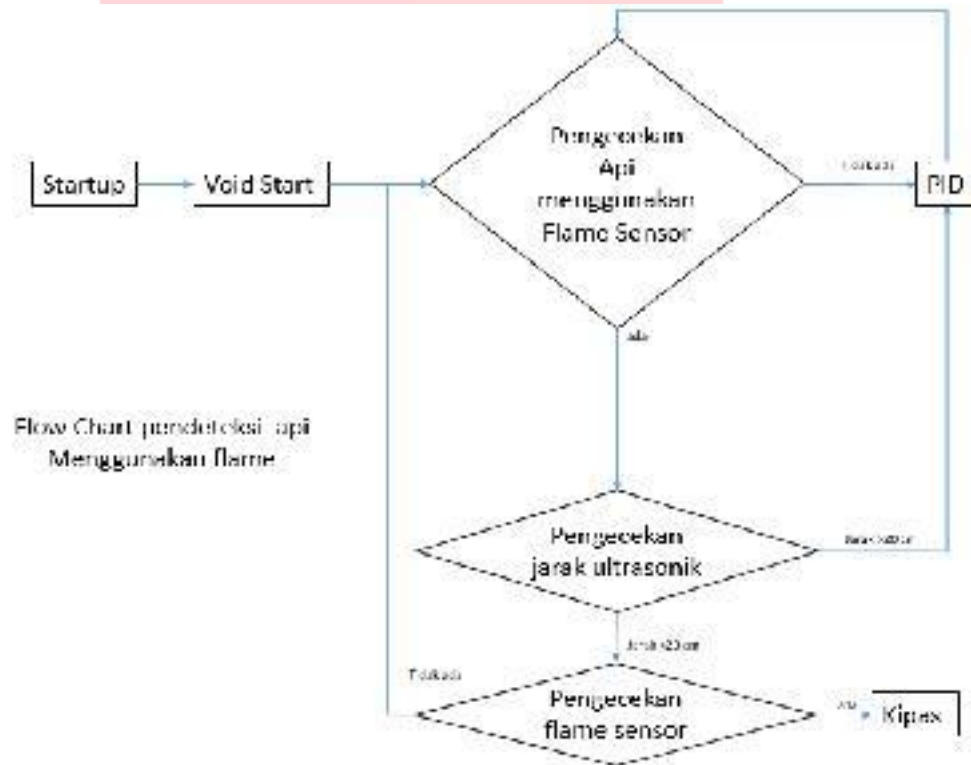
Seperti yang dilihat pada gambar 3.2 di bawah, Tahap pertama pada sistem pendeteksian api ini adalah *startup*, dimana sistem dinyalakan dengan menekan tombol 'on' pada robot. Lalu tahap selanjutnya adalah *Import OpenCV* pada RasPi dengan menggunakan aplikasi PUTTY via WiFi. Setelah import berhasil jalankan robot dengan void start menggunakan aplikasi PUTTY. Robot akan jalan menggunakan metode PID, dimana robot akan bergerak dengan melihat error pada sensor jarak (ultrasonik) yang akan menjaga robot agar tidak menabrak dinding dan menyusuri maze. Dalam perjalanan robot tersebut dilakukan pendeteksian api secara terus menerus menggunakan inputan *flame sensor* dan kamera untuk mengecek apakah ada api atau tidak, bila tidak ada api maka akan dilakukan PID lagi dan apabila ada api maka robot akan berjalan mendekati lilin berpacu dengan koordinat x yang didapatkan oleh kamera. Untuk mendeteksi warna api dimana citra yang terekam oleh kamera adalah dalam ranah *element* warna RGB nilai tersebut di konversikan ke elemen nilai warna HSV. Kemudian kita aplikasikan teknik image processing pada opencv. Setelah keberadaan api diketahui dan *flame sensor* terdeteksi ada api, maka robot akan melakukan pemadaman dengan menyalakan kipas terhadap titik api. Pergerakan dalam mendekati lilin akan terus dilakukan sampai flame sensor mendeteksi api dan jarak minimum terhadap robot dengan api sejauh 20 cm.



Flow Chart pendeteksi api Menggunakan Kamera dan flame

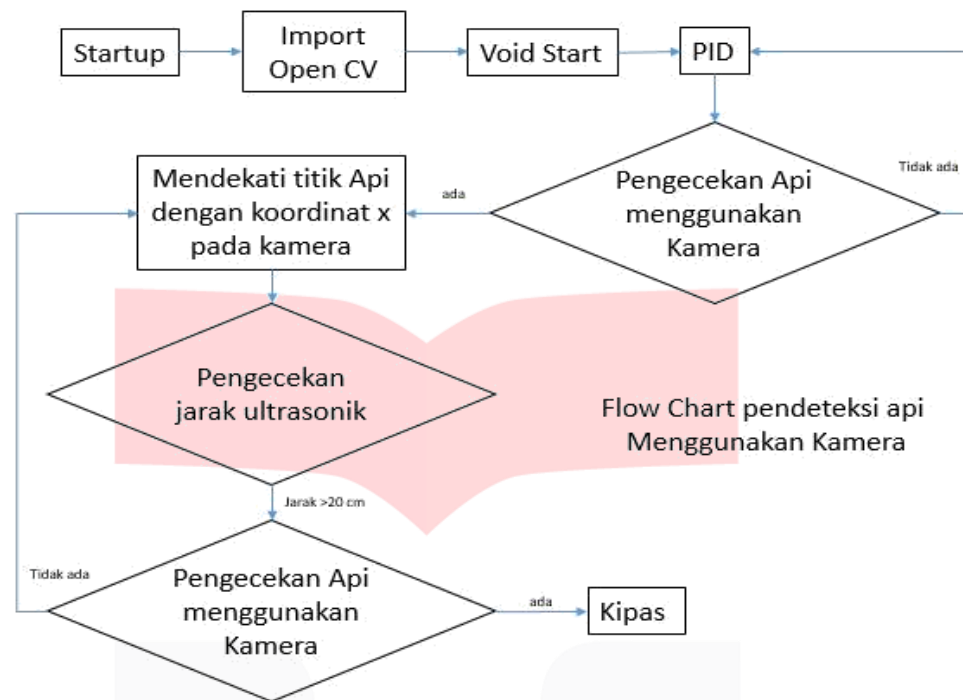
3.3.2. Algoritma Sistem Deteksi Sensor Api

Seperti yang dilihat pada gambar 3.3 di bawah, Tahap pertama pada sistem pendeteksian api ini adalah *startup*, dimana sistem dinyalakan dengan menekan tombol 'on' pada robot. Robot akan jalan menggunakan metode PID, dalam perjalanan robot tersebut dilakukan pendeteksian api secara terus menerus menggunakan flame sensor untuk mengecek apakah ada api atau tidak, bila tidak ada api maka akan dilakukan PID lagi dan apabila ada api maka robot akan berjalan mendekati lilin berpacu dengan jarak depan yang didapatkan oleh ultrasonik. Setelah keberadaan api diketahui dan *flame sensor* terdeteksi ada api, maka robot akan melakukan pemadaman terhadap titik api. Pergerakan dalam mendekati lilin akan terus dilakukan sampai thermal mendeteksi api dan jarak *minimum* terhadap robot dengan api sejauh 20 cm. Apabila kipas sudah dinyalakan dan saat di cek api masih hidup, maka lakukan proses kipas.



3.3.3. Algoritma Sistem Deteksi kamera

Seperti yang dilihat pada gambar 3.4 di bawah, Tahap pertama pada sistem pendeteksian api ini adalah *startup*, dimana sistem dinyalakan dengan menekan tombol 'on' pada robot. Lalu tahap selanjutnya adalah Import OpenCV pada RasPi dengan menggunakan aplikasi PUTTY via WiFi. Setelah import berhasil jalankan robot dengan void start menggunakan aplikasi PUTTY. Robot akan jalan menggunakan metode PID, dimana robot akan bergerak dengan melihat error pada sensor jarak (ultrasonik) yang akan menjaga robot agar tidak menabrak dinding dan menyelusuri maze. Dalam perjalanan robot tersebut dilakukan pendeteksian api secara terus menerus menggunakan kamera untuk mengecek apakah ada api atau tidak, bila tidak ada api maka akan dilakukan PID lagi dan apabila ada api maka robot akan berjalan mendekati lilin berpacu dengan koordinat x yang didapatkan oleh kamera. Untuk mendeteksi warna api dimana citra yang terekam oleh kamera adalah dalam ranah *element* warna RGB nilai tersebut di konversikan ke elemen nilai warna HSV. Kemudian kita aplikasikan teknik image processing pada opencv. Setelah keberadaan api diketahui terdeteksi ada api, maka robot akan melakukan pemadaman terhadap titik api. Pergerakan dalam mendekati lilin akan terus dilakukan sampai kamera mendeteksi api dan jarak *minimum* terhadap robot dengan api sejauh 20 cm. Setelah robot berada kurang dari 20 cm dan api terdeteksi pada tengah piksel kamera maka kipas meniup untuk memadamkan api



3.4. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Pada perancangan perangkat keras (hardware) dibutuhkan peralatan utama dibawah ini :

- Brushless Motor DC
- UBEC 12V to 5V
- Propeller
- Baterai LiPo 3 Cell 2200 mAh
- Baterai LiPo 3 Cell 1600 mAh
- Kamera Logitech C170
- Raspberry Pi 3
- AtMega 2560
- FTDI
- Thermal
- LCD

3.4 Spesifikasi Mekanik

Berikut Spesifikasi mekanik Robot Pemadam Api yang akan diimplementasikan Sistem Pendeteksi Api:

- Berat : 2119 g
- Tinggi : 22 cm
- Lebar : 20 cm
- Panjang : 25 cm
- Bahan penyusun : Acrylic

4. Pengujian dan Analisa

Pada bab ini membahas mengenai pengujian dan analisis terhadap Kecepatan dan keakuratan ketiga sistem algoritma yang telah dibuat, yaitu sistem algoritma pemadaman api menggunakan penggabungan kamera dan *flame sensor*, sistem algoritma pemadaman api menggunakan kamera saja, serta sistem algoritma pemadaman api menggunakan *flame sensor* saja. Pengujian ini dilakukan pada tiga titik percobaan yang berbeda dimana setiap titik percobaan dilakukan lima kali pengujian. Dilakukan juga pengujian terhadap pengaturan HSV untuk pendeteksian api dan melihat *error* terhadap sumbu x pada kamera.

4.1. Tujuan pengujian

Tujuan dalam pengujian sistem ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis kinerja *Image Processing* dalam Pengaturan *threshold* HSV yang terbaik dalam mendeteksi api pada lilin.
2. Menganalisis kinerja sistem berdasarkan tingkat akurasi deteksi api pada lilin.
3. Menganalisis kinerja sistem berdasarkan kecepatan mematikan api pada lilin.
4. Menganalisis *error* pada sumbu x pada kamera.

4.2. Pengujian sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan beberapa pengujian yang berbeda, pengujian dilakukan untuk membuktikan kinerja sistem yang telah dibuat.

4.2.1. Pengujian Image Processing dalam Pengaturan threshold HSV

Citra yang akan diambil pertama kali pada kamera adalah citra dengan format RGB. Pada tugas akhir ini penulis melakukan pengujian dalam format HSV, sehingga citra RGB di konversikan ke dalam HSV agar dapat diolah ke tahap berikutnya. Didalam tahap pertama ini, penulis menguji parameter nilai HSV yang terbaik untuk mendeteksi api.

Sebelum melakukan pengujian, berikut adalah beberapa tahap *image processing* yang akan digunakan. salah satu tahap awal dalam *image processing* adalah pengambilan citra. Lalu gambar di buram kan agar informasi warna pada gambar tidak terlalu banyak. Pada awal pengambilan citra, citra berada pada *color-space* RGB, citra ini perlu di ubah kedalam *color-space* HSV dan mulai tentukan *parameter setting* terhadap nilai *Hue*, *Saturation*, *Value*, dan *Minimum Area* yang sesuai dengan karakteristik api pada lilin yang digunakan pada pengujian. Pengujian dilakukan dengan posisi robot dan api bertemu di lapangan, seperti gambar 4.1. Setelah semua parameter telah di atur agar bisa mendeteksi api. Gambar baru yang penulis beri nama *imgThresh* akan dibuat dengan berdasarkan nilai maksimum dan nilai minimum pada *Hue*, *Saturation*, dan *value*. Dimana nilai maksimum akan bernilai 255 (white pixel) dan nilai min akan bernilai 0 (black pixel). Lalu kita tentukan titik tengah atau *centroid* dengan menggunakan moments, dimana hasil *imgThresh* akan diolah sehingga mendapatkan titik tengah dari pembagian antara nilai *imgThresh* dengan gambar asli. Untuk memudahkan penulis melihat pusat pemrosesan titik tengah dari moments, penulis membuat lingkaran dengan radius kecil.

Pada pengujian *Threshold* HSV ini dilakukan *setting* nilai minimum dan maksimum pada *Hue*, *Saturation* dan *Value*. Sebelum nya batas nilai minimum dan maksimum berkisar 0 hingga 255. Agar nilai tersebut dapat diatur dalam *window adjustment* sesuai dengan warna objek yang akan dideteksi penulis menggunakan *trackbar*. Berikut hasil dan analisis pengujian *color Threshold* HSV, untuk gambar dapat dilihat pada lampiran.

Pengujian pertama :

Pengujian pertama di lakukan dengan pengaturan nilai parameter yang diujikan sebagai berikut:

1. Hue minimum	:	0
2. Hue maksimum	:	255
3. Saturation minimum	:	0
4. Saturation maksimum	:	100
5. Value minimum	:	190
6. Value maksimum	:	255
7. Minimum Area	:	50

Pada pengujian pertama filter color HSV masih belum maksimal dikarena banyak karakteristik benda lain yang menembus filter color HSV. Akibat tembusnya karakteristik benda lain, Region of interest yang di tandai dengan dot hijau pada citra

Pengujian kedua :

Pengujian kedua di lakukan dengan pengaturan nilai parameter yang diujikan sebagai berikut :

1. Hue minimum	:	16
2. Hue maksimum	:	255
3. Saturation minimum	:	0
4. Saturation maksimum	:	100
5. Value minimum	:	190
6. Value maksimum	:	255
7. Minimum Area	:	50

Pada pengujian kedua, *Hue* Minimum telah diubah menjadi 16, hasil pengujian ini berhasil membuat *Motion* berada tepat di titik tengah api. Namun saat robot berjalan, masih banyak karakteristik benda lain masuk ke pemfilteran HSV. Sehingga kesalahan deteksi terjadi

Pengujian ketiga :

Pengujian ketiga di lakukan dengan pengaturan nilai parameter yang diujikan sebagai berikut :

1. Hue minimum	:	16
2. Hue maksimum	:	255
3. Saturation minimum	:	0
4. Saturation maksimum	:	37
5. Value minimum	:	200
6. Value maksimum	:	255
7. Minimum Area	:	200

Pada pengujian ketiga, *Hue* Minimum masih tetap 16, namun *Saturation* maksimum diubah menjadi 37, *Value* minimum 200, dan minimum area menjadi 200, hal ini ditujukan agar tidak banyak benda yang hampir memiliki karakteristik warna yang sama terdeteksi sebagai api.

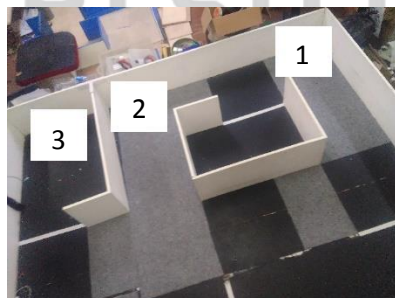
Hasil pengujian dan analisa:

Setelah mendapatkan nilai yang tepat untuk *Threshold HSV*, penulis mendapatkan hasil warna yang tepat untuk warna api pada lilin yang akan di deteksi. Nilai yang di dapat adalah *hue* minimum 16, *hue* maksimum 255, *Saturation* minimum 0, *Saturation* maksimum 37, *Value* minimum 200, *Value* maksimum 255, dan minimum area dengan nilai 200. Dengan setting *Threshold* ini, *centroid* yang ditandai oleh lingkaran hijau berada di titik api.

4.2.2. Pengujian keakuratan dan kecepatan

Melakukan pengujian terhadap keakuratan pendeteksian api saat robot melakukan susur di *maze*. bentuk *maze*, dan letak awal titik api diletakkan seperti gambar dibawah. Pengujian ini di lakukan lima kali percobaan pada setiap titik kemungkinan lilin dimana yang diperhatikan adalah berapa kali robot berhasil mematikan api dalam satu kali percobaan. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan ketiga algoritma sistem pendeteksian api yang dibuat penulis. Dilakukan juga pengujian terhadap kecepatan robot dalam mematikan api dalam satu kali running, pengujian ini dilakukan lima kali pada setiap titik lilin dimana yang diperhatikan adalah waktu tercepat dengan membandingkan ketiga algoritma sistem pendeteksian api yang dibuat penulis.

Berikut gambar *maze* yang akan digunakan oleh penulis untuk mengujikan sistem yang telah dibuat:



Titik nomer satu, dua, dan tiga merupakan posisi-posisi titik api yang akan diuji. Titik nomer satu dinamakan dengan lorong satu, titik nomer dua dinamakan dengan lorong dua, dan titik nomer tiga dinamakan ruang satu.

Pengujian dilakukan dengan tiga skenario, yaitu skenario pertama algoritma sistem pendeteksi api menggunakan gabungan kamera dan *flame sensor*. Skenario kedua, Robot menggunakan algoritma sistem pendeteksi api menggunakan *flame sensor* saja, dan terakhir menggunakan algoritma sistem pendeteksi api menggunakan kamera saja. Pada tiga skenario ini hal yang perlu dipertimbangkan adalah seberapa lama waktu yang diperlukan untuk memadamkan api. Keberhasilan dalam memadamkan api akan dihitung untuk keakuratan robot mematikan api. Pengujian ini dilakukan lima kali pada setiap titik api, dimana titik api diletakan pada gambar diatas.

Skenario pertama:

Tabel 4. 1 Percobaan skenario pertama.

Percobaan ke-	Titik api lorong 1		Titik api lorong 2		Titik api ruang 1	
	Berhasil memadamkan api	Waktu pendeteksian	Berhasil memadamkan api	Waktu pendeteksian	Berhasil memadamkan api	Waktu pendeteksian
1	iya	9 detik	iya	18	Iya	22
2	Iya	10 detik	Tidak	13	Iya	23
3	Iya	9 detik	Iya	14	Iya	22
4	Iya	9 detik	Iya	14	Iya	22
5	Iya	8 detik	Iya	20	Tidak	26

Pada pengujian skenario pertama, didapatkan bahwa sistem pendeteksian dengan gabungan kamera dan *flame sensor* pada lorong 1 dengan lima kali keberhasilan mematikan api tanpa mengalami kegagalan pemadaman api, Kecepatan deteksi pada lorong 1 mempunyai rata-rata 9 detik. pada lorong 2 dengan empat kali keberhasilan mematikan api dan mengalami satu kegagalan pemadaman api, Kecepatan deteksi pada lorong 2 mempunyai rata-rata 15.8 detik. pada ruang 1 dengan empat kali keberhasilan mematikan api dan mengalami satu kegagalan pemadaman api, Kecepatan deteksi pada ruang 1 mempunyai rata-rata 23 detik. Dengan menjumlahkan keberhasilan robot mematikan api dan membaginya dengan jumlah percobaan, akan menghasilkan berapa persentase keberhasilan robot dalam mematikan api. Sehingga persentase keberhasilan dalam skenario pertama adalah sebesar 86.67%

Skenario kedua:

Tabel 4. 2 Percobaan skenario kedua.

Percobaan ke-	Titik api lorong 1		Titik api lorong 2		Titik api ruang 1	
	Berhasil memadamkan api	Waktu pendeteksian	Berhasil memadamkan api	Waktu pendeteksian	Berhasil memadamkan api	Waktu pendeteksian
1	Iya	9 detik	Tidak	27	Iya	28
2	Iya	8 detik	Iya	13	Iya	22
3	Iya	7 detik	Iya	13	Iya	21
4	Iya	8 detik	Tidak	13	Iya	21
5	Iya	8 detik	Tidak	19	Iya	19

Pada pengujian skenario kedua, didapatkan bahwa sistem pendeteksian dengan *flame sensor* pada lorong 1 dengan lima kali keberhasilan mematikan api tanpa mengalami kegagalan pemadaman api, Kecepatan deteksi pada lorong 1 mempunyai rata-rata 8 detik. pada lorong 2 dengan dua kali keberhasilan mematikan api dan mengalami tiga kegagalan pemadaman api, Kecepatan deteksi pada lorong 2 mempunyai rata-rata 17 detik. pada ruang 1 dengan empat kali keberhasilan mematikan api dan mengalami satu kegagalan pemadaman api, Kecepatan deteksi pada ruang 1 mempunyai rata-rata 22.2 detik. kegagalan deteksi *flame sensor* dapat

menyebabkan titik api terlewat. Kegagalan ini lebih diakibatkan karena robot mengalami kegagalan saat berbelok. Persentase keberhasilan dalam skenario kedua adalah sebesar 80%

Skenario ketiga:

Tabel 4. 3 Percobaan skenario ketiga.

Percobaan ke-	Titik api lorong 1		Titik api lorong 2		Titik api ruang 1	
	Berhasil memadamkan api	Waktu pendeteksian	Berhasil memadamkan api	Waktu pendeteksian	Berhasil memadamkan api	Waktu pendeteksian
1	Tidak	-	Tidak	-	Tidak	-
2	Tidak	-	Tidak	-	Tidak	-
3	Tidak	-	Tidak	-	Tidak	-
4	Tidak	-	Tidak	-	Tidak	-
5	Tidak	-	Tidak	-	Tidak	-

Pada pengujian skenario ketiga, didapatkan bahwa sistem pendeteksian dengan kamera tidak dapat dilakukan. Hal ini dikarenakan kamera masih bisa mendeteksi karakteristik warna benda lain selain api, sehingga robot melakukan pengecekan api terus tanpa ada api di depan robot. Karakteristik warna benda lain yang terdeteksi salah satunya yaitu lampu, karena lampu memiliki karakteristik spektrum warna yang hampir sama dengan api. Persentase keberhasilan dalam skenario ketiga adalah sebesar 0%

Kesimpulan dan analisis pengujian :

Dilihat dari ketiga skenario diatas, Skenario pertama mempunyai tingkat keakurasian yang cukup tinggi yaitu 86.67% sedangkan tingkat akurasi skenario kedua mendapat tingkat keakurasian sebesar 80%. Dan untuk skenario ketiga tidak dapat berhasil memadamkan satupun api, hal ini dikarenakan kamera selalau mendeteksi spektrum warna yang mirip dengan api. Kesalahan deteksi tersebut dapat di atasi dengan berbagai cara, contohnya dengan menutup sebagian atas kamera, sehingga hanya bagian *maze* saja yang terlihat. Dapat juga diatasi dengan mengatur *threshold HSV* agar lampu tidak terdeteksi dan hanya api yang terdeteksi, menambahkan metode dalam deteksi api, serta dengan menambah *variable* acuan seperti menambah sensor lain, namun dalam tugas akhir ini tidak dapat dilakukan karena yang diperhatikan adalah 3 kondisi, yaitu penggunaan kamera saja, *flame sensor* saja dan penggabungan kamera dengan *flame sensor*. Untuk kecepatan deteksi api dan pemadaman api kedua skenario hampir memiliki waktu yang sama, hal ini diakibatkan pwm yang diberikan pada robot sama.

4.2.3 Pengujian terhadap nilai error piksel x

Melakukan pengujian nilai *error* terhadap jarak titik tengah kamera dengan titik tengah api, nilai *error* didapat dengan mengurangi jarak titik tengah api dengan piksel x. pengujian ini dilakukan lima kali pada ruang 1, sehingga didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Percobaan error terhadap titik tengah.

Percobaan ke-	Nilai error (titik tengah kamera dikurangi dengan titik tengah api)
1	-57
2	-11
3	-46
4	37
5	- 17

Nilai *error* terjadi akibat kelembaman robot saat pengereman berlangsung, robot melakukan gerakan berhenti bila *flame sensor* mendeteksi api. Gerakan yang lambat akan mengatasi masalah ini, namun gerakan yang lambat akan membutuhkan waktu yang cukup lama. Berikut beberapa contoh gambar terhadap pengujian nilai *error*.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan berdasarkan pengujian dan analisis sistem yang telah dilakukan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem pendeteksian objek menggunakan metode HSV memerlukan *threshold* atau pengaturan *Hue*, *Saturation*, *Value* yang tepat agar tidak terjadi kesalahan deteksi oleh benda yang memiliki karakteristik yang hampir sama dengan objek yang sedang di teliti. Dimana *setting threshold HSV* terbaik untuk deteksi api pada penelitian ini adalah *hue* minimum 16, *hue* maksimum 255, *Saturation* minimum 0, *Saturation* maksimum 37, *Value* minimum 200, *Value* maksimum 255, dan minimum area dengan nilai 200.
2. Keakuratan sistem dengan memakai kamera lebih besar dengan tingkat keakuratan 86.67% sedangkan sistem dengan memakai flame sensor adalah 80%. Nilai ini didapat dengan melihat keberhasilan robot mematikan api pada seluruh percobaan dalam skenario.
3. Waktu yang dibutuhkan untuk skenario satu dan skenario dua untuk mematikan api pada tiap ruang maupun lorong hampir sama dikarenakan PWM yg diberikan pada setiap kondisi adalah sama
4. Pada pendeteksian menggunakan kamera tidak dapat mematikan api karena, kamera mendeteksi spektrum warna yang mirip dengan spektrum warna api. Kesalahan deteksi tersebut dapat di atasi dengan berbagai cara, contohnya dengan menutup sebagian atas kamera, sehingga hanya bagian *maze* saja yang terlihat. Dapat juga diatasi dengan mengatur *threshold HSV* agar lampu tidak terdeteksi dan hanya api yang terdeteksi, menambahkan metode dalam deteksi api, serta dengan menambah *variable* acuan seperti menambah sensor lain, namun dalam tugas akhir ini tidak dapat dilakukan karena yang diperhatikan adalah 3 kondisi, yaitu penggunaan kamera saja, *flame sensor* saja dan penggabungan kamera dengan *flame sensor*.
5. Pergerakan yang lambat akan menambah keakurasian pada sistem, namun akan membutuhkan waktu yang cukup lama. Sehingga diperlukan *motor DC* yang mempunyai spesifikasi tinggi agar robot langsung berhenti tanpa ada kelembaman

5.2. Saran

Saran untuk tugas akhir in bagi yang ingin melanjutkan atau menyempurnakan kekurangan yang dialami adalah sebagai berikut:

1. Mencari metode sistem deteksi yang lebih akurat dibandingkan *color HSV*, dikarenakan sistem deteksi menggunakan HSV masih banyak kelemahan diantaranya banyak benda yang mendekati karakteristik api akan terdeteksi juga.
2. Menggunakan *mini pc* yang lebih tinggi spesifik nya, karena tegangan sistem pengolahan pada raspberry pi 3 masih tidak stabil saat diberi tegangan bersama AtMega 2560.
3. Menggunakan *motor DC* yang memiliki spesifikasi tinggi, agar saat robot berhenti, robot tidak mengalami kelembaman. Dan memiliki kemampuan untuk menaikan PWM, agar robot melakukan penyusuran pada maze dengan cepat.
4. Sistem yang telah dibuat oleh penulis agar diaplikasikan dan dilanjutkan risetnya untuk kontes robot pemadam api, dimana yang diperhatikan adalah kecepatan robot untuk mematikan api. Diharapkan dengan sistem yang telah dibuat ini, robot dapat mematikan api dengan waktu yang singkat.

DAFTAR PUSAKA

- [1] Datasheet. 2016. "TPA81 Thermopile Array". [online], available: <https://www.robot-electronics.co.uk/hm/tpa81tech.htm>. [Accessed 27 Oktober 2016].
- [2] Datasheet. 2016. "Flame Sensor UVTRON R2868". [online], available: https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/R2868_TPT1008E.pdf. [Accessed 27 Oktober 2016].
- [3] OpenCV. 2013. "Color Detection & Object Tracking". [online], available: <http://opencv-srf.blogspot.co.id/2010/09/object-detection-using-color-seperation.html>. [Accessed 27 Oktober 2016].
- [4] Turgay Çelik, Hüseyin Özkaramanli, dan Hasan Demirel, "FIRE AND SMOKE DETECTION WITHOUT SENSORS: IMAGE ROCESSING BASED APPROACH", Eastern Mediterranean University Gazimağus, 2007.
- [5] Kumarguru Poobalan dan Siau-Chuin Liew, "FIRE DETECTION ALGORITHM USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES", University Malaysia Pahang, 2015.
- [6] Prane Mariel B. Ong dan Eric R. Punzalan, "Comparative Analysis of RGB and HSV Color Models in Extracting Color Features of Green Dye Solutions", 2014.
- [7] wikipedia, "File:HSV color solid cylinder.png", 2016. [online], available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HSV_color_solid_cylinder.png [Accessed 16 november 2016]
- [8] Dawn Pedersen dan Sacramento, "Week 4: Web Color". [online], available: http://urlnextdoor.com/iadt/web-design_1/week04.php [Accessed 16 november 2016]
- [9] Rapid Table, "RGB to HSV color convesion", 2016. [online], available: <http://www.rapidtables.com/convert/color/rgb-to-hsv.htm> [Accessed 16 november 2016]
- [10] Lasantha Blog, "Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik", 2013. [online], available: <http://komputasirobotic.blogspot.co.id/2013/04/prinsip-kerja-sensor-ultrasonik.html> [Accessed 29 november]
- [11] Rhomanzah, Donny. 2015. Sistem Kecerdasan Buatan Untuk Robot Asisten Berbasis Algoritma Case
- [12] <https://www.raspberrypi-spy.co.uk/2016/02/introducing-the-raspberry-pi-3-model-b/> (diakses tanggal: 20 Agustus 2017)
- [13] https://www.raspberrypi-spy.co.uk/wp-content/uploads/2016/02/raspberry_pi_3_repvew_6.jpg (diakses tanggal: 20 Agustus 2017)
- [14] Datasheet. 2014. "Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V". <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega2560> (diakses tanggal: 20 Agustus 2017)
- [15] Gegeriyadi Blog. "Cara menggunakan PuTTY, Panduan simple untuk pemula", 2017. [online], available: <https://gegeriyadi.com/cara-menggunakan-putty> (diakses tanggal: 20 Agustus 2017)
- [16] Wikipedia. "OpenCV", 2013. [online], available: <https://id.wikipedia.org/wiki/OpenCV> (diakses tanggal: 20 Agustus 2017)
- [17] Logitech. "webcam c170", 2017. [online], available: <https://www.logitech.com/id-id/product/webcam-c170#specification-tabular> (diakses tanggal: 20 Agustus 2017)