



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH DINAMIKA ASAP HASIL PEMANASAN KABEL PADA
PENDETEKSIAN BERBASIS PENCITRAAN GAMBAR**

SKRIPSI

EDWIN WASKITO JAKTI

0606073101

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH DINAMIKA ASAP HASIL PEMANASAN KABEL PADA
PENDETEKSIAN BERBASIS PENCITRAAN GAMBAR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

EDWIN WASKITO JAKTI

0606073101

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI

DEPOK

JULI 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

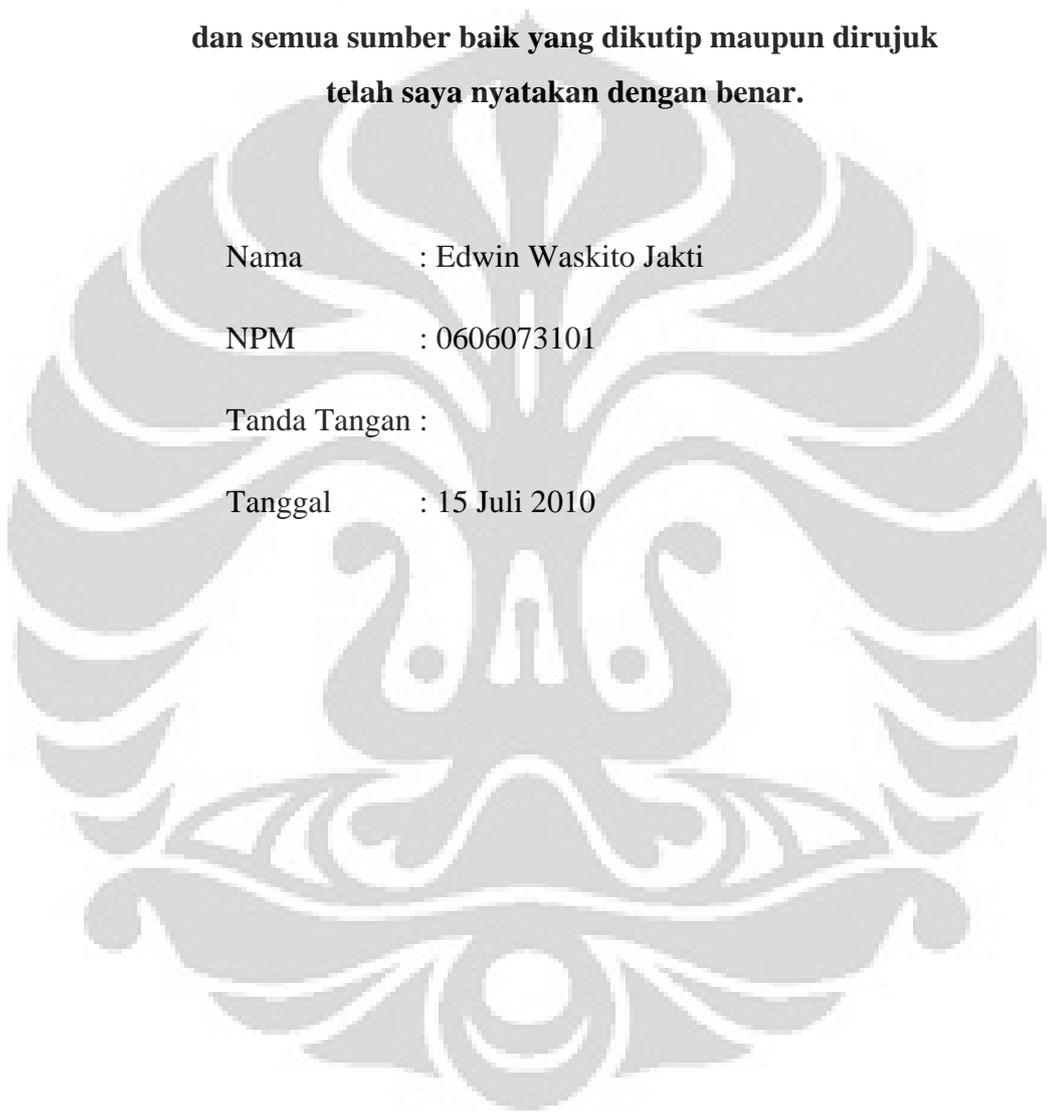
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Edwin Waskito Jakti

NPM : 0606073101

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Juli 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Edwin Waskito Jakti
NPM : 06 06 07 31 01
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Dinamika Asap Hasil Pemanasan Kabel
pada Pendeteksian Berbasis Pencitraan Gambar

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.Ir. Yulianto S. Nugroho M.Sc. Ph.D ()

Penguji : Dr. Agus Pamitran S.T. M.Eng ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Nandy Putra ()

Penguji : Dr. Gandjar Kiswanto S.T. M.Eng ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 15 Juli 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **“PENGARUH DINAMIKA ASAP HASIL PEMANASAN KABEL PADA PENDETEKSIAN BERBASIS PENCITRAAN GAMBAR”**. Penulisan laporan akhir penelitian ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa dalam masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini, penulis telah memperoleh berbagai bantuan dan bimbingan hingga akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak terutama kepada :

- Kedua orang tua dan seluruh keluarga besar yang selalu mendukung baik moral maupun materiil kepada penulis hingga menyelesaikan pendidikan
- Seluruh dosen maupun guru yang pernah mendidik sejak kecil hingga menyelesaikan pendidikan S1
- Prof. Yulianto S Nugroho sebagai pembimbing skripsi yang selalu memberikan bantuan dan dukungan sejak dimulainya penelitian ini hingga skripsi ini selesai. Dr-Ing. Nasruddin selaku pembimbing akademis yang juga banyak membantu penulis selama masa perkuliahan
- Gunawan M. Alif, selaku partner kerja dan juga sahabat yang banyak membantu penelitian ini dan juga banyak memberi inspirasi. Suwarno, dan Lutfi Ardiansyah sebagai rekan dalam penelitian tentang video smoke detector ini yang telah banyak memberikan pengetahuan tentang *image processing*.
- Seluruh dosen DTM dan juga karyawan yang banyak membantu baik saat penelitian skripsi ini dan juga selama masa perkuliahan.
- PT. Kabelindo Murni Tbk. yang membantu menyediakan material uji kabel pada penelitian ini.

- Bapak Adrianus, Rachmat Widiyanto, Ganjar Kiswanto, Ario S. Baskoro, serta beberapa dosen lain yang telah ikut mendiskusikan dan memberi masukan pada penelitian ini.
- Seluruh sahabat penulis pada masa perkuliahan, Danal, Farid, Fakhri, Priya, Dipo, Danang, Anggariawan, Lintang, Reza dan semua mahasiswa mesin angkatan 2006 dan lainnya yang banyak membantu dan mendukung penulis selama masa perkuliahan.
- Sindhu, Rama, Denis, Sabda, Mus, Via, Yuniar, Naya, serta seluruh sahabat penulis yang tidak bisa disebut semua atas dukungan dan doanya kepada penulis.

Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian dan juga dalam penulisan skripsi ini sehingga penulis dapat menyelesaikannya. Besar harapan penulis bahwa skripsi ini dapat memberikan informasi dan manfaat serta pengetahuan bagi pembaca dan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin. Demikian skripsi ini dibuat sebagaimana mestinya dan semoga bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca umumnya.

Depok, 15 Juli 2010

Edwin Waskito Jakti
(0606073101)

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Edwin Waskito Jakti
NPM : 0606073101
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah yang berjudul :

**Pengaruh Dinamika Asap Hasil Pemanasan Kabel pada Pendeteksian
Berbasis Pencitraan Gambar**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusive ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / format-kan, mengelola dalam bentuk pengkalaan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 15 Juli 2010

Yang menyatakan

(Edwin Waskito Jakti)

ABSTRAK

Nama : Edwin Waskito Jakti

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Pengaruh Dinamika Asap Hasil Pemanasan Kabel pada
Pendeteksian Berbasis Pencitraan Gambar

Hubungan arus pendek maupun kerusakan peralatan listrik masih didapati sebagai salah satu penyebab kebakaran yang paling sering terjadi di Jakarta. Skripsi ini menjelaskan percobaan pada pemanasan kabel akibat penyambungan kabel dan pembebanan yang berlebih. Percobaan ini menggunakan sambungan sampel kabel NYA 1.5mm² yang diselimuti PVC. Temperatur akan meningkat dan pyrolisis dari PVC akan menghasilkan asap. Asap yang dihasilkan dari proses pemanasan ini diamati keadaan fisiknya dan direkam. Pengaruh antara temperatur, kecepatan asap maupun gaya apung dikorelasikan. Gejala fisik tersebut diaplikasikan untuk sistem pendeteksian baru berbasis video yang dikembangkan. Sistem ini menggunakan Adaptive Gaussian Mixture Model untuk melakukan segmentasi objek bergerak dan menggunakan Sistem Inferensi Fuzzy untuk mengklasifikasikan adanya asap berbahaya atau tidak.

Kata Kunci:

Pemanasan Kabel, asap, gaya apung, , pendeteksian, Gaussian Mixture Model, video smoke detector,

ABSTRACT

Name : Edwin Waskito Jakti

Majoring : Mechanical Engineering

Title : Effect of The Dynamics of Smoke Produced by Cable Heating at
Detection System Based on Image Processing

According to Jakarta's fire department, there are 191 fires caused by electrical fault. This paper explains the experimental work of cable heating due to connection and overload current. This experiment using 1.5mm^2 NYA Cable jointed and loaded with overload current. The temperature will rise and smoke will produced due to pyrolysis of PVC coated on the cable. The smoke that produced by the heating were closely monitored and recorded. The correlation of upward velocity of smoke, buoyant force, and temperature were related. This physical condition will applied in a new way of detection a fire using image processing that has been developed. This system required Adaptive Gaussian Mixture Model to separated moving object from its background. Fuzzy inference system used to classify if there's any appearance of a dangerous smoke or not.

Keywords:

Cable heating, smoke, buoyant force, detection, Gaussian Mixture Model, Video Smoke Detector

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan Penulisan	3
I.3 Batasan Masalah	4
I.4 Metodologi Penelitian	4
I.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
II.1 Prinsip Overheating pada Kabel Secara Umum	7
II.2 Permodelan Matematis terhadap Pemanasan pada Kabel Berarus	12
II.3 Asap Sebagai Hasil dan Indikasi Terjadinya Kebakaran	17
II.4 Adaptive Gaussian Mixture Model	20
II.5 Pendeteksian Asap dengan Adaptive Gaussian Mixture Model	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
III.1 Sistematika Penelitian	27
III.2 Sampel Pengujian dan Perangkat Percobaan	29
III.3 Prosedur Pengujian	33
III.4 Proses Pengolahan Data	33
BAB IV HASIL DAN ANALISIS	37
IV.1 Hubungan Arus yang Dibebankan dengan Temperatur Permukaan Kabel	38
IV.2 Dinamika Asap hasil Pemanasan Kabel dan Pendeteksian nya	41
IV.3 Validasi Sistem Video Smoke Detector dengan Perbandingan Terhadap Sistem Pendeteksian Smoke Detector	52
BAB V PENUTUP	57
V.1 Kesimpulan	57
V.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA.	59
LAMPIRAN	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Penyebab kebakaran di Jakarta Tahun 2009	1
Gambar 1.2 Peralatan percobaan kebakaran kabel yang ada di DTM FTUI	4
Gambar 2.1 Ilustrasi mikroskopis pada sambungan kabel	11
Gambar 2.2 Geometri dari kabel berarus dengan simbol-simbol pada permodelan	12
Gambar 2.3 Flow diagram proses pencitraan gambar dari sistem video smoke detector	21
Gambar 2.4 Flow chart untuk Segmentasi objek yang dilakukan adaptive GMM	22
Gambar 2.5. Sistem Fuzzy	23
Gambar 2.6 Hasil pencitraan gambar pada percobaan skala lab	25
Gambar 3.1 Skema peralatan percobaan dan komponennya	27
Gambar 3.2 Contoh Sampel Kabel yang akan diuji	28
Gambar 3.3 Alat uji kabel	29
Gambar 3.4 Fluke® 568 Infrared thermometer	30
Gambar 3.5 Vivotek Camera IP7132	31
Gambar 3.6 Contoh hasil pemecahan video	34
Gambar 3.7 Contoh proses penghitungan nilai luas dengan ImageJ	35
Gambar 4.1 Grafik T vs t Pada Kabel NYA 1.5mm ² dengan berbagai nilai arus	38
Gambar 4.2 Grafik Arus Vs Temperatur Saat munculnya Asap pada kabel 1,5mm ²	39
Gambar 4.3 Ilustrasi Letak pengambilan data temperatur	39
Gambar 4.4 Contoh hasil Pendeteksian dari Sistem Video Smoke Detector	41
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Luas Asap Hasil Deteksi Terhadap Pengamatan Manual (arus 15A)	42
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Luas asap Hasil Deteksi Terhadap Pengamatan Manual (arus 15A)	43
Gambar 4.7 Visualisasi asap pada awal munculnya (diambil pada detik ke-77) dengan arus 15A (sebelah kiri) dan 16 A (sebelah kanan)	45
Gambar 4.8 Daerah nilai luasan pada keadaan awal terbentuknya asap	45

Gambar 4.9 Visualisasi asap diambil pada detik ke-95 dengan arus 15A (sebelah kiri) dan 16 A (sebelah kanan)	46
Gambar 4.10 Daerah pada nilai luas pada keadaan kecepatan asap maksimal	47
Gambar 4.11 posisi pada distribusi gaussian untuk hubungan peningkatan temperatur, density kecepatan	47
Gambar 4.12 Hasil pendeteksian pada keadaan kecepatan asap maksimal	48
Gambar 4.13 Visualisasi asap diambil pada detik ke-170 dengan arus 15A (sebelah kiri) dan 16 A (sebelah kanan)	49
Gambar 4.14 Daerah pada nilai luas asap pada kondisi luasan asap maksimum	50
Gambar 4.15 Hasil pendeteksian pada kondisi luas asap maksimum	51
Gambar 4.16 Peletakan Video Smoke Detector dan Smoke Detector Fotoelektrik pada Percobaan Kalibrasi Video Smoke Detector	52
Gambar 4.17 Frame video pada saat asap mulai terlihat	53
Gambar 4.18 Hasil pencitraan gambar	53
Gambar 4.19 Contoh kesalahan pendeteksian	54
Gambar 4.20 Frame Video pada proses validasi kedua	55
Gambar 4.21 Frame video hasil pendeteksian dan blob-nya	55

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi alat Fluke Infrared thermometer tipe 568	30
Tabel 3.2 Spesifikasi Vivotek Camera IP7132.....	31



DAFTAR LAMPIRAN

A.1 Grafik Hasil Pengukuran Temperatur Tiap Arus

A.2 Grafik Arus vs Temperatur pada munculnya Asap

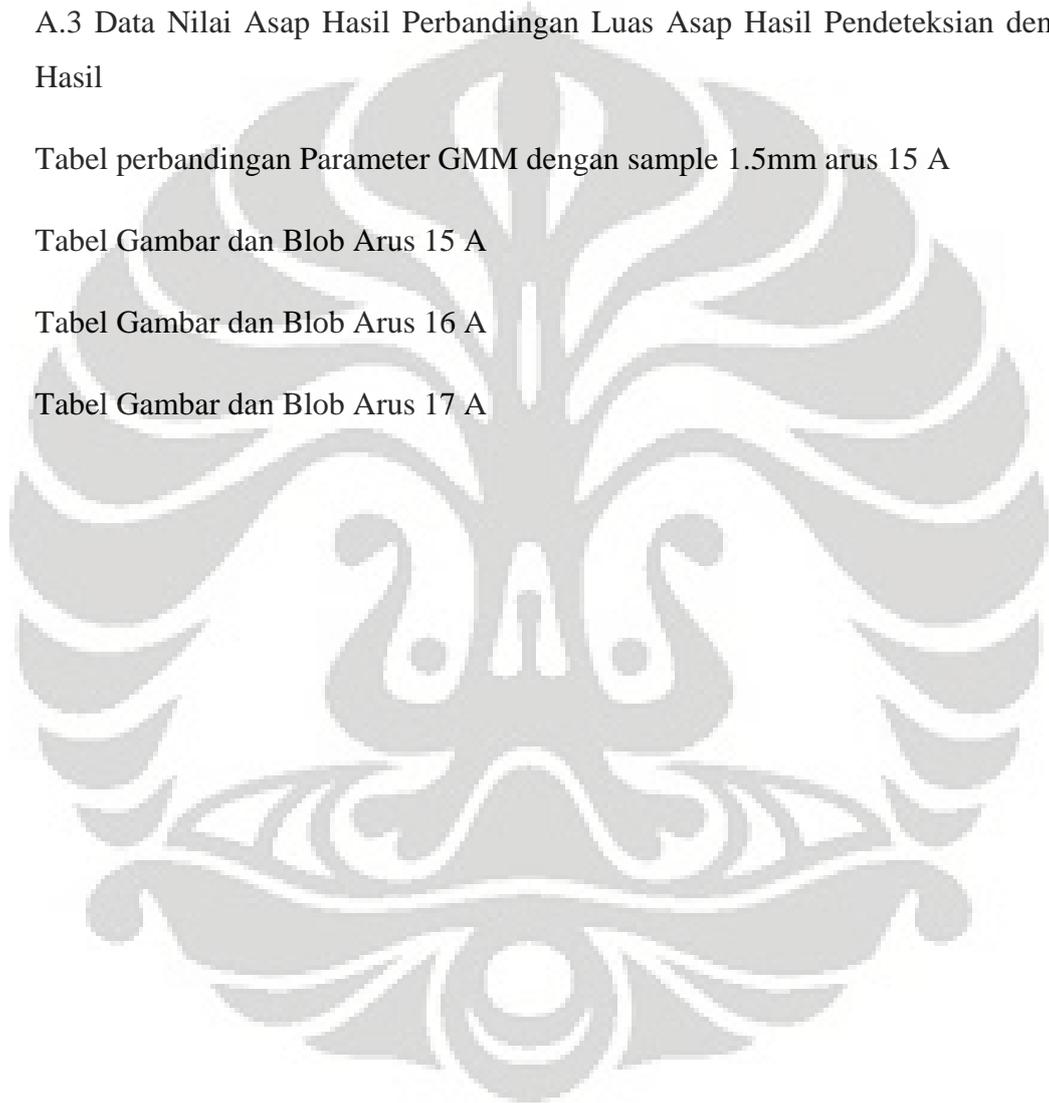
A.3 Data Nilai Asap Hasil Perbandingan Luas Asap Hasil Pendeteksian dengan Hasil

Tabel perbandingan Parameter GMM dengan sample 1.5mm arus 15 A

Tabel Gambar dan Blob Arus 15 A

Tabel Gambar dan Blob Arus 16 A

Tabel Gambar dan Blob Arus 17 A



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Menurut statistik di berbagai Negara, listrik dianggap paling sering menjadi pemicu kebakaran. Untuk Jakarta, Berdasarkan data Dinas Pemadam Kebakaran dan Penanggulangan Bencana, korsleting arus pendek listrik masih menjadi faktor tertinggi penyebab terjadinya kebakaran di Jakarta. Sepanjang tahun 2009, ada sekitar 191 kebakaran yang disebabkan karena korsleting listrik dari total kebakaran yang jumlahnya mencapai 316 kasus. Sementara penyebab lain dari kebakaran seperti akibat ledakan kompor ada sekitar 34 kasus, lampu tempel tiga kali dan rokok delapan kasus.



Gambar 1.1 Diagram Penyebab kebakaran di Jakarta Tahun 2009 (Data Dinas Kebakaran DKI)

Banyaknya kejadian kebakaran akibat listrik adalah akibat dari instalasi maupun perawatan yang kurang baik dari peralatan-peralatan listrik. Harus diketahui juga bahwa kerusakan elektrik dari suatu komponen tidak selamanya menjadi pemicu utama dari kebakaran. Kerusakan elektrik yang terjadi pada suatu komponen dapat menyebabkan kerusakan elektrik pada komponen yang lainnya, dan akan berkembang hingga kebakaran. Rantai dari kerusakan yang berbeda-beda ini dapat terbagi pada beberapa fase[2].

Untuk menghindari kejadian kebakaran, banyak metode dan teknik untuk mendeteksi adanya kebakaran mulai dikembangkan. Metode-metode awal dan terpercaya sudah banyak diaplikasikan pada berbagai bangunan maupun rumah tangga. Metode tersebut antara lain adalah smoke detector yang berbasis ionisasi maupun fotoelektrik dan juga heat detector. Kedua jenis alat pendeteksi kebakaran konvensional ini sudah lebih dulu masuk dan dikembangkan sebagai alat pencegah kebakaran utama. Metode pendeteksian yang digunakan pada kedua jenis detector ini berdasarkan pada kenaikan temperatur dan juga opasitas dari asap yang menjadi hasil dari kebakaran.

Namun pada beberapa kejadian kebakaran, dibutuhkan waktu yang lama pada sebuah ruangan yang terbakar untuk mencapai temperatur batas dari sebuah heat detector untuk membunyikan alarm. Kekurangan yang sama ditemukan pada smoke detector yang membutuhkan kontak langsung antara asap dan alat sehingga hal ini akan berakibat fatal bila ruangan yang digunakan cukup tinggi. Ketinggian akan jadi masalah besar bagi smoke detector karena kontak asap dan alat menjadi lama.

Atas dasar itulah, Departemen Teknik Mesin bekerja sama dengan Fakultas Ilmu Komputer bersama-sama mengembangkan sebuah sistem pendeteksian baru berbasis proses pencitraan gambar (image processing). Alat ini menggunakan basis visualisasi asap yang dihasilkan baik dari frame video maupun gambar real-time. Sistem pendeteksian seperti ini sudah lebih dulu dikembangkan oleh beberapa peneliti luar negeri, diantaranya Marbach & Loepfe yang mengembangkan

pencitraan gambar untuk pendeteksian api di gambar video[3]. Selain itu, terdapat penelitian dari Weiser D Brupbacher T. yang mendeteksi kebakaran secara otomatis pada terowongan dengan gambar video[4].

Video smoke detector yang dikembangkan adalah sistem cerdas berbasis pencitraan gambar dengan menggunakan adaptive gaussian mixture model sebagai alat untuk melakukan segmentasi objek bergerak terhadap background. Kemudian, untuk mendefinisikan besar dan bahayanya asap yang terdeteksi, digunakan sistem inferensi fuzzy. Penjelasan teknis tentang pemrograman dan sistem inferensi fuzzy yang digunakan dijelaskan oleh Suwarno[6]

Namun demikian, pada banyak penelitian dari smoke detector yang berbasis visual, kondisi asap maupun proses penghasilan asap tidak pernah dibahas sebagai sebuah objek. Hal ini sangat wajar mengingat penelitian sebelumnya tersebut merupakan penelitian berbasis ilmu komputer. Objek asap tidak pernah dibahas secara fisik baik keadaan thermalnya maupun pengendalian jumlahnya.

I.2 Tujuan Penulisan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk :

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk :

1. Memberikan gambaran dan informasi mengenai apa saja penyebab, ciri-ciri dan akibat dari kebakaran kabel.
2. Mendapatkan hubungan pengaruh bentuk asap terhadap pendeteksian berbasis pencitraan gambar dengan luas asap sebagai parameter nya.
3. Melakukan perbandingan terhadap waktu respon dari smoke detector dengan video smoke detector yang dikembangkan ini.

I.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, arah penelitian difokuskan pada kajian kebakaran yang disebabkan oleh kabel dan meliputi :

1. Hubungan antara pengaruh arus yang dilewati pada kabel terhadap temperatur yang dicapai
2. Hubungan antara temperatur dengan asap yang dihasilkan terhadap waktu
3. Proses validasi sistem video smoke detector dengan membandingkan terhadap smoke detector.

Penelitian ini hanya menggunakan peralatan percobaan yang ada pada Laboratorium Termodinamika Sub-Laboratorium Keselamatan Kebakaran Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Detail peralatan akan dijelaskan pada pada Bab III.



Gambar 1.3 Peralatan percobaan kebakaran kabel yang ada di DTM FTUI

I.4 Metodologi Penelitian

Untuk menjamin kesesuaian kegiatan penelitian ini dengan tujuan yang hendak dicapai, maka pada bagian ini disampaikan metodologi penelitian :

1. Pengamatan masalah

Merumuskan masalah yang ada dengan cara mengamatinya secara langsung dan melalui informasi yang ada di media

2. Studi Literatur

Melakukan kajian teoritis tentang kebakaran kabel, pengaruh arus terhadap temperatur kabel dan juga melakukan kajian tentang perkembangan pendeteksian kebakaran dengan basis visual

3. Melakukan eksperimen

Melakukan percobaan secara terkendali dalam skala lab untuk mendapatkan data percobaan yang akurat

4. Analisis data

Berdasarkan hasil dari tahap satu hingga empat, maka dapat dilakukan analisa untuk mendapatkan grafik maupun penjelasan tentang hubungan tentang arus dan temperatur yang dicapai terhadap jumlah luasan asap yang dihasilkan dan juga terhadap waktu.

Untuk melihat alur kegiatan dan metodologi penelitian, kita dapat merujuk ke flowchart di bawah ini

I.5 Sistematika Penulisan

Pada proses penulisan hasil penelitian mengenai kebakaran kabel, penulis membaginya dalam lima bab yang pada masing-masing bab tersebut terdiri atas beberapa sub bab. Penyajian skripsi dari hasil penelitian ini, akan dimulai dari latar belakang permasalahan sampai akhirnya ditarik kesimpulan dan saran yang didapat

dari hasil penelitian yang dilakukan. Kerangka dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori tentang pemanasan kabel sebagai landasan dan pendukung dalam melakukan kegiatan penelitian

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang keseluruhan tahapan percobaan, termasuk didalamnya peralatan yang digunakan, langkah-langkah dan prosedur serta kondisi yang dilakukan dalam penelitian dan pengambilan data

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab ini berisi data-data hasil penelitian, perhitungan data tersebut, grafik serta analisi mengenai hasil yang diperoleh. Bagian ini akan menjelaskan data-data yang didapat dari percobaan dan kemudian dianalisa korelasinya satu sama lain untuk mendapatkan kesimpulan sesuai dengan tujuan yang telah dicantumkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan berdasarkan tujuan awal penelitian dan hasil yang diperoleh serta memberikan saran untuk kemajuan penelitian berikutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan tentang dasar-dasar teori tentang penelitian. Teori tersebut didapatkan dari berbagai literatur baik berupa jurnal, buku teks maupun literatur dan media yang mendukung penjelasan tentang kebakaran kabel.

Berikut adalah beberapa literatur yang penulis jadikan dasar dari penelitian yang dilakukan.

II.1 Prinsip overheating dalam Kabel Secara Umum

Dalam kebakaran yang diakibatkan oleh listrik, berikut berdasarkan sumber dari timbulnya api dapat dikategorikan dalam dua penyebab utama[5], yaitu,

1. Api yang timbul dari penghantar kabel
2. Api yang timbul akibat gagalnya pengaman dan pemutus arus listrik bekerja

Pada kebakaran kabel yang disebabkan oleh pengaman dan pemutus rangkaian tidak bekerja, maka di dalam penghantar akan timbul panas yang berlebih yang biasa dinamakan overheating. Overheating diakibatkan oleh arus listrik yang melalui penghantar kabel melebihi batas kemampuan hantar arusnya sehingga akan terjadi pijaran. Pijaran (glowing) ini pada saat tertentu akan melelehkan isolasi penghantar kabel yang juga melewati batas kemampuannya menahan panas. Isolasi akan berubah menjadi bahan bakar bagi pijaran. Pada saat semua isolasi meleleh, maka akan bercampur dengan oksigen, maka akan timbullah api

Adapun overheating pada penghantar kabel antara lain diakibatkan oleh:

1. Overheating karena tahanan listrik pada penghantar kabel
2. Overheating karena short circuit (arus pendek)
3. Overheating karena sambungan listrik

II.1.1 overheating karena tahanan listrik pada penghantar kabel

Persamaan tahanan listrik terhadap luas penampanganya adalah :

$$R = \frac{\rho \cdot l}{\gamma \cdot A} \dots\dots\dots(2.1)$$

)

Dimana: R = Resistance / tahanan listrik (Ω / ohm)

ρ = tahanan jenis penghantar ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

γ = konduktivitas penghantar ($\text{m} / \Omega \text{ mm}^2$)

l = panjang penghantar (m)

A = luas penampang penghantar (mm^2)

Sedangkan tahanan listrik yang timbul pada temperatur tertentu adalah :

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(T_t - T_0)] \dots\dots\dots(2.2)$$

2)

Dimana R_t = tahanan yang timbul pada temperatur (Ω)

R_0 = tahanan awal saat penghantar belum dibebani (Ω)

α = koefisien tahanan ($1/\text{K}$ atau $1/^\circ\text{C}$)

T_t = temperatur akhir ($^\circ\text{C}$)

T_0 = temperatur awal ($^\circ\text{C}$)

Overheating yang terjadi di dalam penghantar kabel dipengaruhi oleh faktor-faktor, antara lain :

1. Tahan / hambatan atau resistansi di dalam penghantar kabel sendiri, yaitu dengan adanya pengaruh dari :
 - Induktansi
 - Reaktansi
 - Tahanan isolasi
 - kapasitansi
2. Rugi-rugi dalam penghantar kabel :
 - Rugi pada penghantar kabel
 - Rugi dielektrik
 - Rugi eddy current
 - Rugi pada selubung penghantar kabel

II.1.2 Overheating karena arus pendek

Walaupun tidak terjadi setiap saat, namun oada saat terjadinya arus listrik hubungan singkat, maka kabel dipaksa untuk dapat menahan beban ini selama normalnya 0.2 sampai 0.3 detik, atau sampau dengan peralatan perlindungan terhadap arus hubungan singkat ini bekerja. Meskipun demikian, kabel biasanya dirancang minimal dapat menahan beban arus hungan singkat sampai dengan 5 detik, namun hal ini tergantung pada pabrik pembuatnya.

Pada saat terjadinya arus hubungan singkat ini, kabel akan dipaksa untuk bekerja melewati ambang batas kapasitas arus yang diijinkan dan akan meningkatkan temperatur di dalam penghantar kabel. Pada saat tersebut, arus akan meningkat sampai dengan 20 kali arus nominalnya sampai tidak terhingga. Dan pada kondisi ini akan timbul efek termomekanikal dan efek gaya elektromagnetik yang berbanding lurus dengan kuadrat arus listrik.

Untuk panas akibat arus hubungan singkat pada kabel didapat ari panas yang timbul ($I^2 RT$) dan panas yuang diserap (temperatur massa, specific heat dan kenaikan temperatur), dimana persamaannya dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$I^2 = \frac{K^2 A^2}{T} \log_e \frac{\theta_1 + \beta}{\theta_0 + \beta}$$

....(2.3)

Dimana :

I = arus hubungan singkat (A)

T = lama terjadinya arus hubungan singkat (detiik)

K = konstanta dari material penghantar kabel

A = luas penampang penghantar kabel (mm²)

θ_1 = temperatur akhir (°C)

θ_0 = temperatur awal (°C)

β = reciprocal koefisien temperatur dari tahanan (α) penghantar kabel (per °C pada 0 °C)

II.1.3 Overheating karena sambungan listrik

Pada saat penyambungan kabel, akan terdapat dua luas penampang kabel yang disatukan disana dimana berarti luas penampang kabel menjadi dua kali. Dengan bertambahnya luas penampang, maka nilai tahanan kabel akan turun. Hal ini akan menyebabkan kemampuan hantar arus listrik yang mengalir akan meningkat. Hal ini dijelaskan dengan persamaan 2.1 diatas.

Pada kenyataannya, sambungan kabel memiliki kenaikan temperatur lebih tinggi sehingga terjadi panas yang lebih tinggi dari penghantar kabel. Selain itu, pada sambyngan kabel yag buruk justru menjadi titik penyalan ap pada kebakaran. Hal ini disebabkan karena pada dasarnya, tingkat pemanasan pada sambungan kabel sama dengan yang mempengaruhi kabel. Antara lain

1. Adanya tahanan pada kabel (resistansi, induktansi, reaktansi, dan kapasitansi)
2. Adanya rrugi-rugi pada kabel (rugi penghantar, rugi eddy current dan rugi pada isolasi kabel)

Faktor yang paling berpengaruh pada sambungan kabel adalah nilai kapasitansinya. Pada sambungan kabel, terutama pada kabel kecil, penyambungan dilakukan dengan mempertemukan dua kabel dan kemudian dipuntir. Secara teoritis, memang kelihatan bahwa kabel tersebut tersambung dengan baik dan rapat. Namun secara mikroskopis, tetap ada celah udara atau kerenggangan pada dua kabel yang tersambung sehingga dengan adanya celah ini dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1 Ilustrasi mikroskopis pada sambungan kabel

Sehingga kapasitansi yang timbul pada sambungan tersebut adalah pada sambungan tersebut :

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{\sum \left[\frac{d}{\epsilon_{r1}} + \frac{d}{\epsilon_{r2}} \right]} \quad \text{(F)} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana muatan yang timbul :

$$Q \text{ (coloumb)} \dots \dots \dots = \dots \dots \dots CV \quad (2.5)$$

Sementara energi yang terjadi karena kapasitansi ini adalah

$$W \dots \dots \dots = \dots \dots \dots \frac{1}{2} CV^2 \quad (2.6)$$

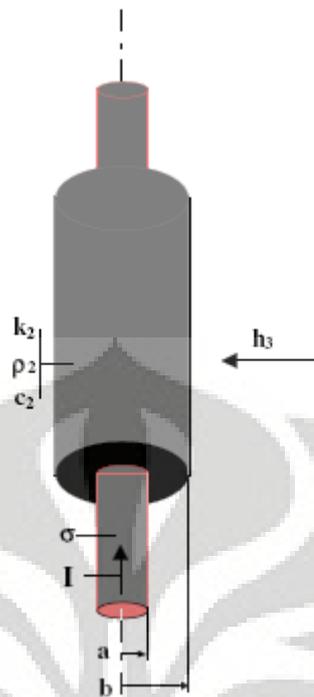
Sehingga disini dapat dijelaskan mengapa sambungan kabel lebih cepat panas, padahal luas penampang kabel bertambah, karena pada persambungan dua kabel ini adanya celah udara yang beruah sifat menjadi dielektrik, sifat kapasitansi

kabel, memang kapasitas dari aliran arus listrik meningkat karena luas titik sentuh pada kabel bertambah.

Pada kabel-kabel dengan ukuran diameter yang relatif kecil, banya faktor-faktor yang bisa diabaikan. Demikian juga halnya dengan kapasitansi yang timbul pada kabel berukuran kecil, pada permukaan bidang sentuh adanya celah udara yang menimbulkan sifat kapasitansi, yang berpengaruh besar bukan terhadap kapasitansi yang timbul dengan sifat listriknya, namun sifat kapasitansi yang mengakibatkan adanya heat loss pada sambungan kabel ini.

II.2 Permodelan Matematis terhadap Pemanasan pada Kabel Berarus

Permodelan ini dikutip dari penelitian yang dilakukan oleh Rahkonen & Mangs[2]. Mereka menulis tentang permodelan penyalaan pada kabel inert yang memiliki arus berlebih. Prinsip dari model geometrisnya terdapat pada gambar 2.2 dimana komponen dan simbol didefinisikan. Inti dari kabelnya adalah tembaga yang memiliki arus. Silinder luarnya dalah insulator. Tembaga maupun insulator diasumsikan memiliki karakteristik termal maupun elektik yang bebas dari pengaruh perubahan temperatur. Selain itu, insulator dianggap inert secara termal, yang artinya meskipun temperaturnya meningkat, tidak terjadi reaksi pada materialnya. Penjelasan tentang insulator yang terbakar akan dibahas pada bagian selanjutnya.



Gambar 2.2 Geometri dari kabel berarus dengan simbol-simbol pada permodelan (Rahkonen[12],1999)

II.2.1 Energi yang timbul di dalam penghantar

Anggap keadaan awal kabel tidak memiliki arus dan temperatur ambient, pada waktu $t = 0$ dan arus dengan besar I'' dialirkan, akan terbentuk energi konstan sebesar :

$$g = I''^2 / \sigma \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana:

g : Energi yang timbul dari penghantar

I'' : arus listrik pada saat $t = 0$,

σ : resistivitas konduktor (resistivitas penghantar kabel)

diasumsikan bahwa tembaga dan insulator melakukan kontak termal secara sempurna. Namun demikian, asumsi ini tidak ideal karena pada saat terjadinya pemanasan akan timbul gas pyrolisis yang terbentuk dari kantong gas

antara tembaga dan insulator. Sementara permukaan kabel mengalami pendinginan, baik secara konveksi maupun radiasi, dimana persamaan liniernya diberikan sebagai berikut :

$$-k_2 \frac{\partial T_2(b,t)}{\partial r} = h_3 T_2(b,t); t > 0$$

.....(2.8)

Dimana:

T_2 : temperatur pendinginan oada kuar penghantar kabel

h_3 : koefisien linier heat transfer baik konveksi maupun radiasi

r : permukaan kabel = b

rumus yang sama dapat dipakai pada nilai thermal dan elecrical properties karena pada kenyataanya semuanya bergantung pada nilai temperatur. Dengan memperhatikan gambar 2.2, kita dapat mendapatkan persamaan perpindahan panas secara konduksi dapat diberikan sebagai berikut :

$$a_1 \frac{l}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + \frac{a_1}{k_1} g_1 = \frac{\partial T_1}{\partial t}; 0 < r < a, t > 0$$

.....(2.9)

Dan

$$a_2 \frac{l}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + \frac{a_2}{k_2} g_2 = \frac{\partial T_2}{\partial t}; 0 < r < a, t > 0$$

.....(2.10)

Dengan kondisi inisial :

$$T_1(r,0) = T_2(r,0) = 0$$

Dan dengan kondisi sekeliling

$$T_1(a,t) = T_2(a,t); t > 0$$

Dengan mensubstitusikan volume penghantar sebagai $dV = \pi a^2 dz$ ke dalam persamaan (2.8), maka :

$$\int k_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} dV + \int \frac{k_1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} dV + \int g_1 dV = \int c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} dV \dots\dots\dots$$

..(2.11)

Dimana thermal diffusivity (temperatur keseluruhan) $a_1 = k_1 / c_1 \rho_1$ untuk memperlihatkan hubungan perbedaan proses energi yang berbeda, seperti yang diberikan pada persamaan (2.11). tidak ada perbedaan temperatur sepanjang penghantar kabel, sehingga jika panjang penghantar dz dan luas penampang dimasukkan ke persamaan (2.11) maka didapat :

$$Z_0^a \frac{\partial T_1}{\partial r^2} \cdot 2\pi k_1 r dr dz + Z_0^a \frac{k_1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} \cdot 2\pi r dr dz + Z_0^a g_1 \cdot 2\pi r dr dz = Z_0^a c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} \cdot 2\pi r dr dz$$

..(2.12)

$$2\pi k_1 dz \left[l_0^a \frac{\partial T_1}{\partial r} \cdot r - Z_0^a \frac{\partial T_1}{\partial r} \cdot dr \right] + 2\pi k_1 dz [T_1(a, t) - T_1(0, t)] + \pi a^2 g_1 dz = \dots\dots\dots$$

$$\pi a^2 c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial T} dz$$

....(2.13)

Sehingga setelah substitusi dilakukan persamaannya menjadi :

$$2\pi k_1 dz \cdot a \frac{\partial T_1}{\partial r} l_{r=a} + \pi a^2 g_1 dz = \pi a^2 c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial T} dz \dots\dots\dots$$

(2.14)

Jika persamaan ini dibagi dengan persamaan (2.8) maka akhirnya menjadi :

$$\frac{2}{a} \cdot k_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} l_{r=a} + g_1 = c_1 \rho_1 \frac{\partial T_2}{\partial t} l_{r=a} \dots\dots\dots(2$$

.15)

Dengan demikian didapat persamaan pada kondisi-kondisi khusus :

$$a_2 \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) = \frac{\partial T_2}{\partial t}; a < r < b, t > 0 \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\frac{2}{a} k_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} + g_1 = c_1 \rho_1 \frac{\partial T_2}{\partial t}; r = a, t > 0 \dots\dots\dots(2.17)$$

$$k_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} + h_3 T_2 = 0; r = b, t > 0 \dots\dots\dots(2.18)$$

$$T_2 = 0; a < r < b; t > 0 \dots\dots\dots(2.19)$$

Pada kondisi Steady State temperatur T_2^∞ persamaan (2.9) dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_2^\infty}{\partial r} \right) = 0 \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana dengan integral :

$$T_2^\infty = C \ln r + C_2 \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana nilai konstanta C1 dan C2 didapat dari persamaan ditentukan dari kondisi seperti pada persamaan (2.18) dan (2.19), sehingga didapat

$$C_1 = -a^2 g_1 / 2k_2 \dots\dots\dots(2.22)$$

$$C_2 = \frac{a^2 g_1}{2bh_3} \left(1 + \frac{bh_3}{k_2} \ln b \right) \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana jika disubstitusikan ke persamaan (2.21), didapatkan :

$$T_2^\infty = \frac{a^2 g_1}{2k_2} \left[\ln \left(\frac{b}{r} \right) + \frac{k_2}{bh_3} \right] \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan catatan bahwa T_0 :

$$T_0 = a^2 g_1 / 2k_2 \dots\dots\dots(2.25)$$

Dan bilangan Biot Bi adalah :

$$Bi = bh_3/k_2 \dots \dots \dots (2.26)$$

Dengan demikian maka T_2^∞ :

$$T_2^\infty = T_0 [1/Bi + \ln(b/r)] \dots \dots \dots (2.27)$$

Kondisi sekitar penghantar kabel seperti pada persamaan (2.17) adalah pada kondisi tidak homogen karena pengaruh dari g_1 , dan dapat di homogenkan dengan memberikan variabel temperatur yang baru $\vartheta(r, t)$, dimana:

$$\vartheta(r, t) = T_2(r, t) - T_2^\infty \dots \dots \dots (2.28)$$

Sehingga jika disubstitusikan ada persamaan (2.16) sampai dengan (2.19) maka didapat persamaan :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \vartheta}{\partial r} \right) + \frac{1}{a_2} \frac{\partial \vartheta}{\partial t}; a < r < b, t > 0 \dots \dots \dots (2.29)$$

$$-\frac{\partial \vartheta}{\partial r} - \frac{ac_1 \rho_1}{2k_2} \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = 0; r = a, t > 0 \dots \dots \dots (2.30)$$

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial r} + \frac{h_3}{k_2} \vartheta = 0; r = b, t > 0 \dots \dots \dots (2.31)$$

$$\vartheta = -T_0 [1/Bi + \ln(b/r)]; a < r < b; t > 0 \dots \dots \dots (2.32)$$

II.3 Asap Sebagai Hasil dan Indikasi Terjadinya Kebakaran

Asap adalah produk gas dari pembakaran material organik dimana partikel kecil padat dan cair terdispersikan [12]. Asap merupakan salah satu hasil pembakaran yang sangat berbahaya karena menurut data statistik yang diperoleh di UK dan USA menunjukkan bahwa lebih dari 50% kematian yang diakibatkan oleh kebakaran disebabkan karena terhirupnya partikulat-partikulat asap yang mungkin mengandung zat-zat beracun.

Asap adalah gas panas yang mengapung, yang pada dasarnya adalah udara panas terkontaminasi. Asap juga mengikuti hukum-hukum dasar dari mekanikal fluida[12]. Asap yang merupakan fluida bergerak berdasarkan pengaruh dari adanya gaya yang mendorong, yang mana gaya yang berpengaruh adalah gradient tekanan yang mendorong fluida. Untuk gerakan asap di dalam gedung, gaya-gayanya dihasilkan oleh:

- a. Gaya apung yang dihasilkan langsung oleh api
- b. Gaya apung yang terjadi akibat adanya perbedaan antara internal dan eksternal temperature ambient
- c. Efek dari angin dan udara yang bergerak
- d. Sistem tata udara yang ada pada ruangan atau bangunan

Konsep dari buoyancy atau gaya apung sangat berhubungan dengan konveksi natural. Jika perbedaan massa jenis terjadi antara penyesuaian massa dari fluida karena gradien temperatur, kemudian gaya buoyancy akan menyebabkan fluida dengan massa jenis yang lebih rendah untuk naik terhadap sekitarnya. Gaya buoyancy (per satuan volume) dihadang oleh viscous drag pada fluida. Rasio dari gaya buoyant yang datang terhadap viscous drag yang menghalangi dihitung sebagai Bilangan Grashof :

$$Gr = \frac{gl^3(\rho^\infty - \rho)}{\rho v^2} = \frac{gl^3 \beta \Delta T}{v^2} \dots\dots\dots(2.33)$$

$g(\rho^\infty - \rho)$ = gaya buoyancy (per satuan volume).

Istilah “buoyant plume” digunakan untuk mendeskripsikan kolom konvektif yang ada diatas sumber panas. Bentuk dari plume ini ditentukan dari interaksi terhadap fluida sekitarnya. Plume yang ideal pada keadaan atmosferik adalah simetris dan berkembang secara vertikal pada ketinggian dimana gaya buoyancy menjadi terlalu lemah untuk melawan viscous drag. Pada beberapa kondisi atmosferik, penurunan temperatur dapat terjadi dan akan menjebak peningkatan plume asap, dan menahan pergerakan vertikalnya.

Gambar 2.3 Buoyant Plume (a) dari titik sumber dan (b) dari sumber nyata, menunjukkan interaksi dengan langit-langit

Bentuk dari plume ini dapat diturunkan secara teoritis lewat persamaan kekekalan dari massa, momentum, dan energi, namun hasil analisis tidak mungkin dilakukan. Beberapa asumsi untuk penyederhanaan sangat diperlukan. Penelitian dari Morton[13] dan Heskestad [14] melakukan pendekatan sederhana dengan mengasumsikan T , ρ (massa jenis) dan u (kecepatan kenaikan) konstan terhadap plume (radius b) pada nilai ketinggian tertentu. Dengan menghubungkan persamaan konservasi, sebuah analisis dimensional yang sederhana bisa digunakan untuk mendapatkan hubungan fungsional antara temperatur dan kecepatan kenaikan aliran pada satu sisi dan hubungan antara kekuatan sumber dan ketinggian pada sisi yang lain. Untuk kekekalan momentum, persamaan dibawah ini dapat digunakan untuk plume yang simetris (pada radius b dan tinggi z diatas titik sumber) pada keadaan atmosfer (massa jenis ρ_∞) jika gaya viscous diabaikan dan perubahan temperatur rendah :

$$\frac{d}{dz}(\rho_0 u_0^2 b^2) \alpha g(\rho_0 - \rho_\infty) b^2 \dots\dots\dots(2.34)$$

Dimana u_0 dan ρ_0 adalah kecepatan aliran secara vertikal dan densitas pada plume axis pada ketinggian z diatas titik sumber (gambar 2.3). dengan pendekatan yang sama, persamaan kekekalan massa :

$$\frac{d}{dz}(\rho_0 u_0 b^2) \alpha \rho v b \alpha \rho u_0 b^2 \dots\dots\dots(2.35)$$

Dan terakhir adalah kekekalan energi digambarkan dibawah ini

$$c_p \rho_0 u_0 b^2 \Delta T_0 \alpha \dot{Q}_{conv} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana ΔT_0 adalah kelebihan temperatur diatas ambient pada ketinggian dan \dot{Q}_{conv} adalah panas yang keluar secara konveksi dari sumber. Panas yang hilang akibat kenaikan dari plume.

Asap dapat dihasilkan dari peristiwa pembakaran maupun *pyrolysis*. *Pyrolysis* terjadi pada permukaan bahan bakar akibat dari temperatur yang meningkat [8]. Hal ini bergantung pada fluks radiasi pada pemanasan permukaan. Temperatur dari proses *pyrolysis* biasanya jauh dibawah temperatur pembakaran. Partikel yang terbawa dari asap jenis *pyrolysis* ini biasanya termasuk monomer

dari bahan bakar, sebagian produk teroksidasi maupun rantai polimer. Pada saat uap dan asap muncul, rendahnya tekanan uap pada asap dapat menyebabkan smoke droplet yang dapat terkondensasi, hal ini yang menyebabkan asap dari pyrolisis berwarna putih. Pembakaran jenis smouldering juga menyebabkan smoke droplet. Namun demikian, smouldering terjadi pembakaran yang berkelanjutan sebagai sumber panasnya, sedangkan pyrolisis membutuhkan sumber panas dari luar. Selain itu, hampir semua material dapat terjadi pyrolisis, sedangkan untuk smouldering, hanya pada beberapa material seperti polyurethane, dan cellulosic material (kayu, kertas, tembakau, dll).

II.4 Adaptive Gaussian Mixture Model

Dalam ilmu proses pencitraan (image processing), terdapat banyak cara untuk melakukan pendeteksian gerak dan objek. Salah satu bagian yang paling penting dari sistem pendeteksian adalah segmentasi pada objek yang bergerak dari latar belakangnya. Adaptive Gaussian Mixture Model adalah salah satu metode dalam melakukan segmentasi pada objek yang bergerak. Pada penelitian tentang Pendeteksian Kebakaran dengan dasar pencitraan gambar, sistem yang digunakan adalah yang telah dikembangkan oleh Suwarno [6].

II.3.1 Permodelan pixel

Komponen Gaussian baru akan dibuat pada setiap piksel dengan tingkat keabuan sebagai nilai rata-rata, variansi awal, serta bobotnya. Hal ini akan dilakukan begitu *frame* pertama dari video masuk. Dengan model seperti ini, maka setiap *pixel* mempunyai sebuah jangkauan baru yang akan digunakan untuk melakukan pembaharuan model jika sebuah kecocokan ditemukan. Kecocokan tersebut ditentukan sebagai sebuah nilai *pixel* pada standar variansi 2,5 dari sebuah komponen Gaussian. Sebaliknya apabila tidak ada yang cocok, maka sebuah komponen Gaussian baru akan dibuat dan komponen yang lama tetap disimpan. Probabilitas *pixel* yang mempunyai nilai x_N pada waktu N dapat dituliskan sebagai berikut:

$$p(x_N) = \sum_{j=1}^K w_j \eta(x_N; \theta_j) \dots \dots \dots (2.37)$$

dengan w_k adalah parameter bobot ke k^{th} dari komponen Gaussian dan $\eta(x; \theta_k)$ adalah distribusi normal dari komponen ke k^{th} .

Maka untuk distribusi normal $\eta(x; \theta_k)$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta(x; \theta_k) = \eta(x; \mu_k, \Sigma_k) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{D}{2}} |\Sigma_k|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu_k)^T \Sigma_k^{-1} (x-\mu_k)} \dots \dots \dots (2.38)$$

II.3.2 Estimasi latar

Pada GMM, pengurutan berdasarkan ω/σ digunakan sebagai acuan untuk dijadikan sebagai komponen background seperti yang dilakukan oleh C. Stauffer et al [13,14]. Dimana mereka memilih komponen B yang pertama dari semua komponen yang telah diurutkan dengan ω/σ sebagai latar, dimana:

$$B = \operatorname{argmin} (\sum_{j=1}^B w_j > T) \dots \dots \dots (2.39)$$

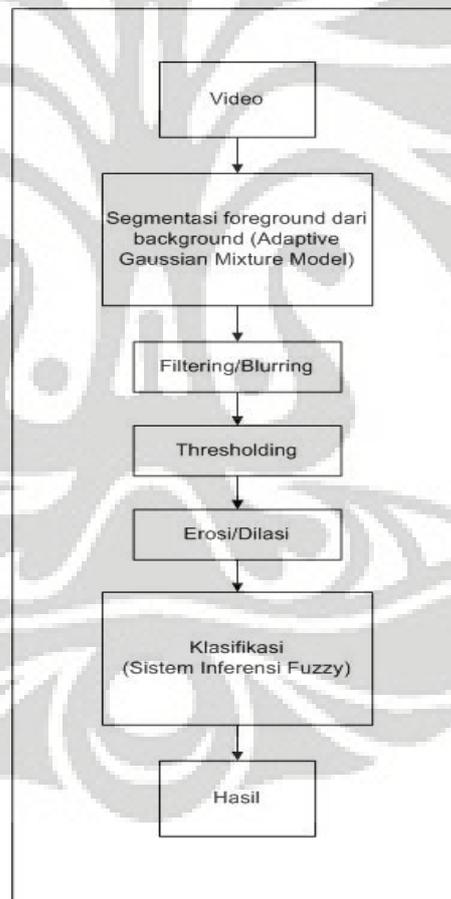
Dengan *threshold* T adalah pecahan minimum dari model latar. Kemudian seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, komponen Gaussian yang paling pertama cocok dengan *test value* akan diperbaharui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \hat{w}_k^{N+1} &= (1 - \alpha) \hat{w}_k^N + \alpha \hat{\rho}(\omega_k | x_{N+1}) \\ \hat{\mu}_k^{N+1} &= (1 - \alpha) \hat{\mu}_k^N + \hat{\rho} x_{N+1} \\ \hat{\Sigma}_k^{N+1} &= (1 - \alpha) \hat{\Sigma}_k^N + \hat{\rho} (x_{N+1} - \hat{\mu}_k^{N+1})(x_{N+1} - \hat{\mu}_k^{N+1})^T \\ \hat{\rho} &= \alpha \eta(x_{N+1}; \hat{\mu}_k^N, \hat{\Sigma}_k^N) \\ \hat{\rho}(\omega_k | x_{N+1}) &= \begin{cases} 1; & \text{jika } \omega_k \text{ adalah komponen Gaussian yang cocok pertama kali} \\ 0; & \text{lainnya} \end{cases} \end{aligned} \quad (2.40)$$

Apabila ternyata tidak terdapat distribusi K yang cocok dengan nilai *pixel*, maka komponen yang memiliki kemungkinan sebagai latar akan diganti dengan distribusi yang baru.

II.5 Pendeteksian Asap dengan Adaptive Gaussian Mixture Model

Pada penelitian tentang Pendeteksian Kebakaran dengan dasar pencitraan gambar, sistem yang digunakan adalah sistem yang telah dikembangkan oleh Suwarno [6]. Pada sistem ini, sebuah program dengan bahasa C++ dengan tambahan Open CV library dikembangkan dengan metode logika fuzzy untuk menjelaskan karakteristik gerak dari asap.



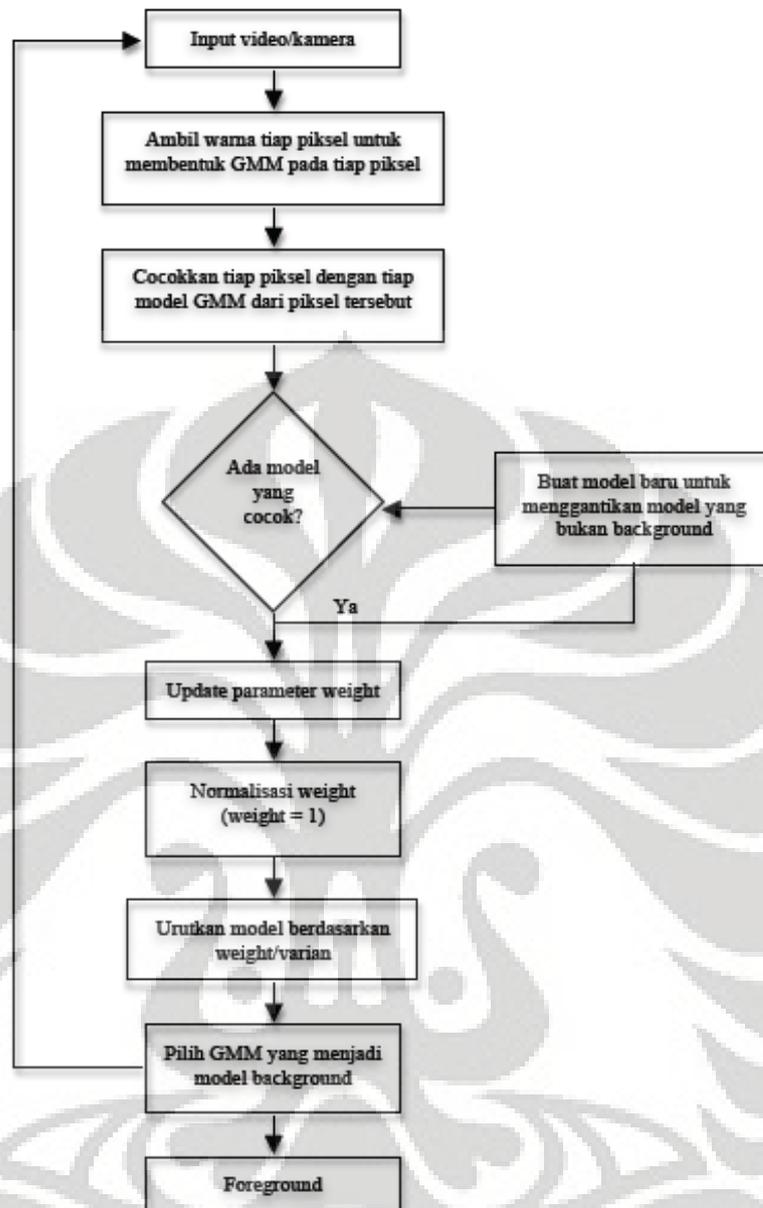
Gambar 2.3 Flow diagram untuk proses pencitraan gambar dari sistem video smoke detector (Suwarno[6], 2010)

Penelitian tentang pendeteksian asap bukanlah yang pertama kali dilakukan di Indonesia. Beberapa peneliti luar negeri telah melakukan penelitian

tentang pendeteksian asap berbasis video dengan menggunakan pencitraan gambar. Marbach & Loepfe yang mengembangkan pencitraan gambar untuk pendeteksian api di gambar video[3]. Selain itu, terdapat penelitian dari Weiser D Brupbacher T. yang mendeteksi kebakaran secara otomatis pada terowongan dengan gambar video[4].

Pada *library* OpenCV yang sering digunakan untuk pengolahan video, sudah disediakan kode program yang mengimplementasikan GMM ini berdasarkan algoritma oleh P. KaewTraKulPong dan R. Bowden [11]. Sistem yang dikembangkan oleh mereka adalah sistem pendeteksian bayangan, yang mana mempunyai karakteristik visual yang mirip dengan objek asap.

Pada penelitian tersebut, yang dipakai adalah memodelkan setiap proses *pixel* sebagai sebuah GMM dengan komponen K Gaussian, dimana K adalah sebuah konstanta antara 3 dan 5 yang pernah dilakukan oleh C. Stauffer et al [9,10]. Kemudian nantinya citra latar akan diestimasi dengan sebuah aturan heuristik.



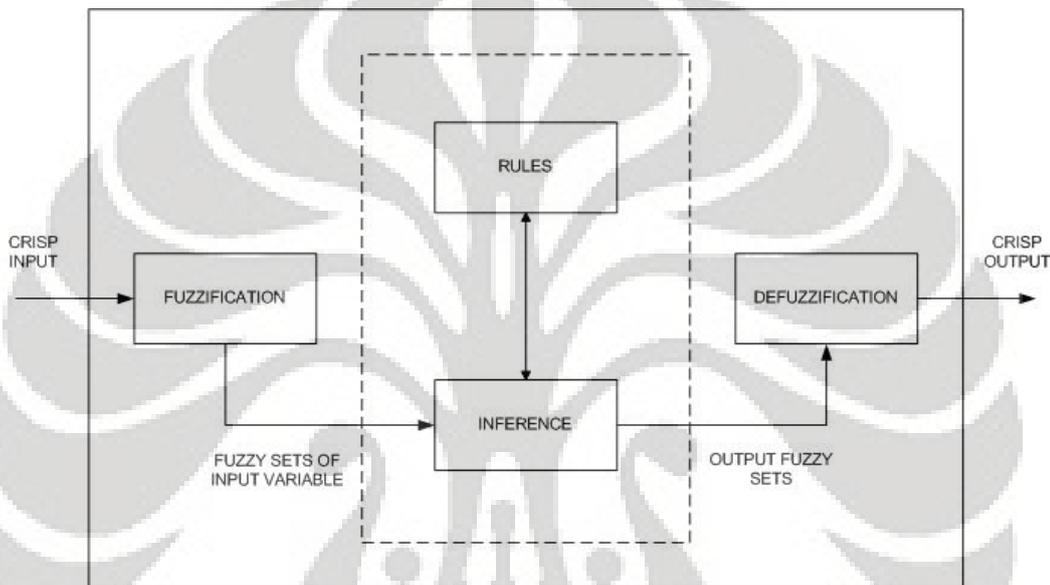
Gambar 2.4 Flow chart untuk Segmentasi objek yang dilakukan adaptive GMM
Suwarno (2010)

GMM ini digunakan karena cocok untuk masalah asap karena sering dijumpai keadaan dimana terjadi perubahan pencahayaan, pergerakan asap yang terjadi secara berulang-ulang, sering kali muncul dan hilang dari layar, dan terutama karena asap merupakan objek yang rumit.

Setelah segmentasi yang dilakukan telah memisahkan objek bergerak dan tidak bergerak, yang selanjutnya dilakukan oleh sistem ini adalah melakukan pendefinisian apakah objek yang bergerak tersebut merupakan asap atau tidak. Pendefinisian ini dilakukan dengan sistem inferensi *fuzzy*.

Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A Zadeh dengan teori himpunan *fuzzy* [16]. Logika ini merupakan pengembangan dari logika klasik dimana hanya ada dua nilai kebenaran yakni salah (0) atau benar (1).

Logika ini kemudian diintegrasikan menjadi sebuah sistem logika yang disebut sistem *fuzzy*. Sistem *fuzzy* terdiri dari 3 tahapan yang utama yakni fuzzifikasi, inferensi *fuzzy*, dan defuzzifikasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada bagan berikut:



Gambar 2.5. Sistem Fuzzy (Kwang, H.Lee (2005, p. 254)

Penjelasan mengenai tahapan-tahapan tersebut:

- Fuzzifikasi
Tahapan dimana terjadi transformasi masukan yang bernilai *crisp* menjadi sebuah nilai *fuzzy* dimana akan ditentukan pula derajat keanggotaannya.
- Inferensi Fuzzy
Pada tahapan ini, akan dilakukan evaluasi masukan yang telah melalui proses fuzzifikasi sebelumnya terhadap aturan-aturan yang telah didefinisikan dari basis pengetahuan yang dimiliki.
- Defuzzifikasi

Tahapan terakhir dimana masukan untuk proses defuzzifikasi adalah agregasi dari luaran himpunan *fuzzy* dan luarannya dapat berupa sebuah nilai tunggal (*crisp*).

Pada sistem pendeteksian yang dikembangkan ini, terdapat tiga sistem *fuzzy* yang dipakai untuk melakukan klasifikasi asap[6]. Ketiga desain sistem tersebut antara lain :

1. Desain sistem fuzzy untuk ukuran blob
2. Desain sistem fuzzy untuk arah blob
3. Desain sistem fuzzy untuk kecepatan blob

Ketiga sistem ini dipilih setelah melakukan banyak diskusi tentang bagaimana asap tersebut dapat dideteksi secara visual. Ukuran, arah dan juga kecepatan dapat menggambarkan asap yang ada pada video merupakan asap yang berbahaya atau tidak. Setiap desain sistem fuzzy memiliki aturan-aturan yang telah dijabarkan oleh Suwarno [6]. Kemudian aturan-aturan ini menentukan blob tersebut merupakan asap yang berbahaya ataupun tidak.



Gambar 2.6 Hasil pencitraan gambar pada percobaan skala lab

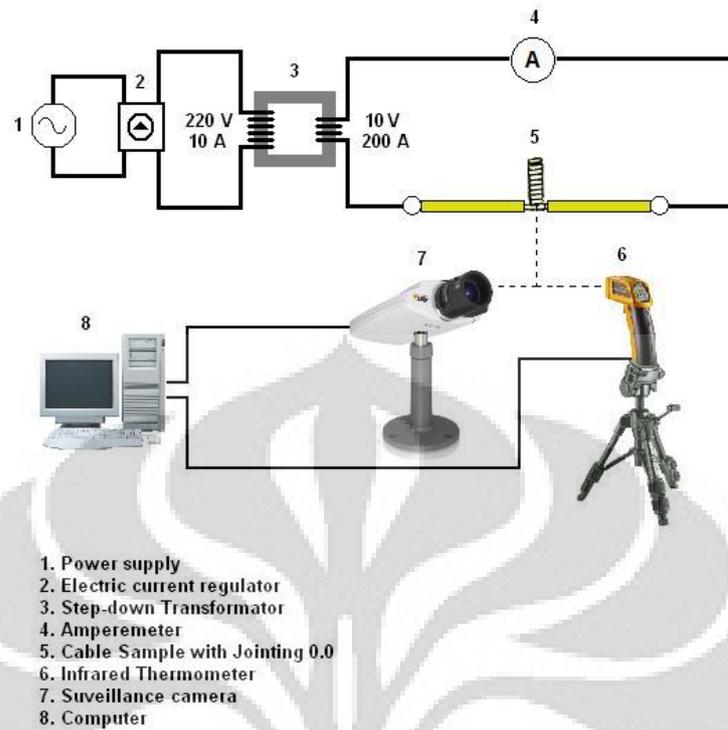
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Sistematika Penelitian

Sistematika Penelitian dalam hal ini mengambil 3 acuan yang dapat digunakan untuk meneliti sejauh mana kabel listrik dapat menghasilkan asap dan untuk membuktikan seberapa efektif pendeteksian dengan video smoke detector yang sudah dikembangkan. Acuan yang dipakai antara lain

1. Menguji kabel NYA yang ada di pasaran dan banyak digunakan dalam instalasi listrik dirumah maupun di gedung. Pemilihan kabel NYA didasarkan pada kenyataan bahwa kabel jenis NYA merupakan dasar dari jenis kabel lainnya. Pada dasarnya, kabel NYM (atau biasa dikenal dengan kabel engkol, jenis kabel yang dipakai dalam instalasi listrik bangunan) adalah tiga kabel NYA yang diisolasi secara khusus. Kabel NYA yang digunakan akan dibatasi yaitu jenis NYA diameter 1.5mm. Hal ini juga didasari pada rata-rata kabel yang digunakan pada instalasi bangunan.
2. Jenis sambungan kabel yang dipakai adalah sambungan kabel sejenis Jointing 0.0 yang kemudian ditutup dengan PVC 3 lapis. Pemilihan jointing ini dimaksudkan untuk mendapatkan titik kritis yang akan menghasilkan asap. Hal ini ditujukan agar asap dihasilkan pada titik sambungan tersebut. Hal ini akan memudahkan dalam mengamati bagaimana asap ini terbentuk maupun mekanika dari asap.
3. Penelitian akan dilakukan dengan peralatan yang dijelaskan dari gambar di bawah ini. penjelasan tentang jenis sampel uji maupun perangkat percobaan akan dibahas pada sub-bab berikutnya.



Gambar 3.1 Skema peralatan percobaan dan komponennya

4. Paramater yang diujikan pada percobaan adalah memvariasikan arus yang dibebani pada kabel dan mengamati asap yang dihasilkan dari variasi tersebut. Beberapa nilai yang diamati antara lain adalah arus, temperatur, dan luas asap yang dihasilkan. Pada percobaan ini, dilakukan variasi arus yang dibebani mulai dari 11 Ampere hingga 18 Ampere. Waktu pengambilan data adalah 6 menit, dimana pada tiga menit awal, kabel akan dibebani dengan arus tersebut. Tiga menit berikutnya, kabel dibiarkan tanpa beban sehingga terjadi pendinginan natural oleh udara.

5. Data yang dihasilkan adalah data dari nilai temperatur pada kabel dan video pengamatan asap yang dihasilkan oleh pemanasan kabel tersebut. Data tersebut kemudian diolah dan hasilnya akan dianalisa. Penjelasan tentang proses pengolahan data akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya

III.2 Sampel Pengujian dan Perangkat Percobaan

III.2.1 Sampel Pengujian

Pada percobaan permodelan overheating dari kabel, akan digunakan jenis kabel NYA 1.5 mm² re (*round solid conductor*) dengan jenis konduktor adalah *annealed plain copper round solid* menurut/sesuai dengan SPLN 41-1; IEC 60228 dan jenis insulasi *extruded layer of Polyvinyl Chloride (PVC)* sesuai dengan SPLN 41-2 berwarna kuning. Kabel tersebut dipotong dan dibentuk dengan ukuran seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.2 Contoh Sampel Kabel yang akan diuji

Pada bagian tengah sampel uji tersebut, dibuat sambungan dengan jenis Jointing 0.0 dengan jumlah lilitan sebanyak enam buah dan tinggi sekitar 2,5 cm. Kemudian, pada bagian sambungan tersebut dililitkan karet isolator berwarna hitam yang terbuat dari bahan PVC sebanyak 3 lilitan. Tujuan dari pemasangan karet isolator ini adalah sebagai salah satu pelengkap pengujian data yang bertujuan justru untuk mencari nilai asap, pada arus dan temperatur berapa dia muncul. Isolator diberikan sebagai pelengkap dari tiga unsur utama untuk menimbulkan asap dan api pada peristiwa pembakaran.

III.2.2 Alat Uji Kabel

Alat pengujian kabel ini dibuat oleh Adrianus [15] untuk penelitian sebelumnya tentang pengaruh jenis sambungan kabel listrik terhadap potensi bahaya kebakaran. Secara sederhana, alat ini merupakan transformator step down yang menurunkan dari voltase awal 220 dengan arus 5 ampere, menghasilkan voltase akhir 10 V dan arus hingga maksimal 400 A. Dua tang ampere dibuat untuk menjepit kabel yang akan diuji. Alat ini dilengkapi regulator arus sehingga arus yang dibebani ke kabel dapat diukur. Untuk mengukur arus yang dibebani, digunakan clamp-meter.



Gambar 3.3 Alat uji kabel

III.2.3 Alat Pengukur Temperatur

Penelitian ini tidak menggunakan thermocouple karena sampel kabel yang diuji akan dialiri arus berlebih. Akan menjadi berbahaya bila arus yang besar ini mengalir melalui thermocouple dan akan merusak peralatan data acquisition. Alat pengukur temperatur yang digunakan adalah jenis non-contact infrared thermometer sehingga tidak perlu ada kontak langsung antara pengukur temperatur dengan kabel berarus besar. Termometer infra merah yang digunakan adalah produk dari FLUKE® *Infrared Thermometers* tipe 568.



Gambar 3.4 Fluke ® 568 Infrared thermometer

Tabel 3.1 Spesifikasi alat Fluke Infrared thermometer tipe 568

Feature	Type 568
IR Temperature Range	(-40 °C to 800 °C)
Accuracy above 0 °C (32 °F)	> 0 °C: ± 1 % or ± 1.0 °C
Communication	USB 2.0
Operating altitude	3000 meters above mean sea level
Operating temperature	0 °C to 50 °C

Produk ini dilengkapi dengan software data logging yaitu Flukeview® untuk memudahkan proses pengambilan data hasil pengukuran.

III.2.4 Kamera perekam video

Kamera perekam menggunakan jenis kamera pengawas produk dari Vivotek®, yaitu IP Camera Vivotek IP7132 dengan resolusi 640x480 piksel dengan *frame rate* 15 fps. Pemilihan kamera ini didasarkan pada jenis kamera yaitu IP camera sehingga dapat langsung dihubungkan dengan komputer. Berikut ini adalah gambar dan spesifikasi kamera yang disajikan dalam tabel.



Gambar 3.5 Vivotek Camera IP7132

Tabel 3.2 Spesifikasi Vivotek Camera IP7132

System	<p>CPU: VVTK-1000 SoC</p> <p>Flash: 4MB</p> <p>RAM: 32MBMB</p> <p>Embedded OS: Linux 2.4</p>
Lens	<p>f = 4.0 mm</p> <p>F 1.6</p> <p>CS-mount</p> <p>Fixed</p>
Image settings	<p>Adjustable image size, quality, and bit rate</p> <p>Time stamp and text caption overlay</p> <p>Flip & mirror</p> <p>Configurable brightness, contrast, saturation, sharpness, white balance and exposure</p> <p>AWB AES</p> <p>Supports privacy masks</p>
Video	<p>Compression: MPEG-4</p> <p>Streaming:</p> <p>MPEG-4 streaming over UDP, TCP, HTTP or HTTPS</p> <p>MPEG-4 multicast streaming</p> <p>Supports 3GPP mobile surveillance</p> <p>Frame rates:</p> <p>MPEG-4: Up to 30/25 fps at 640x480</p>
Power	<p>12V DC</p> <p>Power consumption: Max. 4.9 W</p>
Viewing System Requirement	<p>OS: Microsoft Windows 2000/XP/Vista/7</p> <p>Browser: Mozilla Firefox, Internet Explorer 6.x or above</p> <p>Cell phone: 3GPP player</p> <p>Real Player: 10.5 or above</p> <p>Quick Time: 6.5 or above</p>

III.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dari penelitian ini dibagi menjadi dua tahap

1. Tahap Persiapan

- a. Menyalakan semua peralatan pengujian yang akan digunakan. Peralatan tersebut antara lain komputer, IR termometer, IP camera, clamp meter, maupun ampere regulator.
- b. Meletakkan kabel uji pada tang ampere pada ampere regulator. Sebelum pengujian, di tes terlebih dahulu apakah kabel dapat dilewati arus atau tidak
- c. Mengaktifkan semua software untuk merekam data, mulai dari data logging dari IR Thermometer maupun IP camera
- d. Memastikan IR thermometer menunjuk ke sambungan kabel.
- e. memastikan kamera fokus sehingga data dari video bagus hasilnya.

2. Tahap Pengoperasian dan pengambilan data

- a. Memulai perekaman IP camera
- b. Memulai logging data temperatur
- c. Mengalirkan arus sesuai dengan yang direncanakan dengan regulator pada alat.
- d. Arus dialirkan dengan interval waktu 3 menit untuk kabel NYA diameter 1.5mm
- e. Setelah waktu tersebut, arus dihentikan dan kabel dibiarkan tanpa arus untuk interval waktu yang sama dengan saat dialiri arus
- f. Setelah selesai, matikan logging data dan perekaman kamera
- g. Ambil data temperatur dan video dari gambar yang sudah direkam

III.4 Proses Pengolahan Data

Setelah melakukan tahap pengoperasian dan pengambilan data, proses selanjutnya adalah melakukan pengolahan data sesuai dengan tujuan awal

penelitian. Data yang diambil adalah berupa temperatur dari proses pemanasan kabel dan data berupa video dari kamera yang kami rekam. Kedua data tersebut diambil dari komputer utama dan kemudian diolah

Untuk data temperatur, kami mengklasifikasikan data tersebut sesuai dengan arus yang dilewatkan pada kabel uji yang kami buat. Pada bagian sebelumnya, kami telah menjelaskan bahwa kami melakukan uji dari kabel 1.5 mm² ini dengan range arus antara 11 Ampere hingga 18 Ampere. Pemilihan range ini untuk mendapatkan representasi untuk temperatur maksimal pada arus yang lebih tinggi maupun lebih rendah lagi.

Data temperatur yang didapat diolah menggunakan MS Excel 2007 untuk mendapatkan grafik temperatur ini dan memudahkan untuk pengolahan data selanjutnya yang menyertakan temperatur.

Untuk data dari video, kami melakukan beberapa tahapan penting untuk mendapatkan hasil yang bisa dilakukan analisa. Tahapan tersebut dijelaskan pada uraian di bawah ini :

1. Pemecahan Video

Video yang didapatkan dari percobaan akan dipecah menjadi frame-frame yang merepresentasikan visualisasi dari setiap detik dari percobaan yang dilakukan. Pemecahan video ini ditujukan untuk mendapatkan visualisasi dari kejadian penelitian pada setiap detiknya. Hal ini sangat penting karena pada bagian analisa, akan didapatkan waktu awal munculnya asap maupun visual dari gerakan asap pada setiap detiknya.

Pemecahan video yang kami lakukan menggunakan software Software Club Video Decompiler[®] yang mampu memecah video menjadi gambar dengan format JPEG. Software ini adalah freeware sehingga dapat diunduh dengan mudah.



Gambar 3.6 Contoh hasil pemecahan video

2. Pendeteksian frame dengan video smoke detector

Masih dengan video yang sama, kami melakukan proses pencitraan gambar pada tiap video yang kami ambil pada percobaan. Ini adalah bagian yang paling penting karena pada proses inilah kemampuan software yang dikembangkan ini diuji.

Bagian paling awal dari tahap ini adalah menset beberapa nilai threshold dari pendeteksian. Hal ini penting karena threshold yang tinggi dapat menyebabkan luas asap yang terlihat secara visual tidak dapat dideteksi. Threshold yang terlalu rendah juga dapat menyebabkan kesalahan pendeteksian. Pada sistem yang dikembangkan ini, kami menggunakan Microsoft Visual Studio 2005 untuk melakukan pemrograman dan juga melakukan debugging pada program yang kami buat. Setelah di debug, kami mengambil gambar hasil pendeteksian pada setiap detiknya. Hal ini ditujukan agar hasil luasan yang merupakan output dari pendeteksian dapat diukur. Proses perhitungan akan dijelaskan pada tahap berikutnya.

3. Penghitungan Luas dari asap dengan ImageJ

Pada pengembangannya, sistem pendeteksian dari video smoke detector adalah berbasis pada region atau objek yang bergerak. Dari bab II

dapat dimengerti bahwa klasifikasi asap yang disebut berbahaya masih berdasarkan tiga hal, yaitu besarnya luasan asap, arah asap dan kecepatannya. Berdasarkan dari penjelasan tersebut, sangat penting untuk menghitung nilai luas dari asap dan kemudian mencari korelasi antara luasan asap dengan fenomena dari pyrolisis yang terjadi pada kabel.

Untuk menghitung luas dari blob maupun dari frame video yang sudah dipecah, digunakan software ImageJ[®]. Software ini dipilih karena merupakan freeware dan juga mudah digunakan. Proses perhitungannya dimulai dari mencari perbandingan dari pixel dengan jarak asli. Fitur dari software ini memungkinkan kita melakukan kalibrasi terhadap jarak asli.

Setelah ukuran yang telah dikalibrasi didapat, perhitungan luasan dari asap dimulai. Contoh proses penghitungan dilakukan seperti contoh dibawah ini.



Gambar 3.6 Contoh proses penghitungan nilai luas dengan ImageJ

Proses penghitungan ini kemudian diulang terus menerus untuk frame dari waktu yang berbeda sehingga didapatkan gambaran dari luasnya asap pada waktu percobaan. Hasil dari penghitungan keseluruhan dari satu video percobaan kemudian dibuat grafik dan dianalisis baik luas maupun kejadian yang mempengaruhi luasnya asap tersebut. Detail dari analisis tersebut akan dibahas pada Bab IV.

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan penjelasan tentang fenomena fisik dari kebakaran kabel. Selain itu, penelitian ini ditujukan untuk mengembangkan sistem pendeteksi baru berupa video smoke detector. Sistem ini diharapkan memiliki kemampuan dan tingkat kepercayaan yang baik.

Pada perkembangannya, beberapa percobaan telah dilakukan untuk mendapatkan apa yang menjadi tujuan dari penelitian ini. Beberapa percobaan dilakukan untuk mendapatkan karakter maupun fenomena yang terjadi pada kebakaran kabel. Selain itu, beberapa percobaan lain dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari video smoke detector dalam mendeteksi asap sebagai tanda awal kebakaran.

Percobaan yang ditujukan untuk mendapatkan fenomena dari kebakaran kabel antara lain :

1. Melakukan percobaan untuk mengetahui korelasi antara peningkatan arus yang dibebankan pada kabel dengan peningkatan temperatur yang dicapai kabel
2. Melakukan percobaan untuk mendapatkan korelasi antara temperatur yang dicapai dari asap dengan luas asap yang dihasilkan dari peningkatan temperatur ini.
3. Melakukan percobaan untuk mengetahui kapan terjadinya pyrolisis pada kabel dan korelasinya terhadap temperatur yang dicapai kabel.
4. Melakukan pengujian SEM pada sampel kabel yang dialiri arus berlebih dan membandingkannya dengan kabel yang dibakar dari luar kemudian memahami fenomenanya.

Kemudian, percobaan yang ditujukan untuk menilai kemampuan dari video smoke detector antara lain :

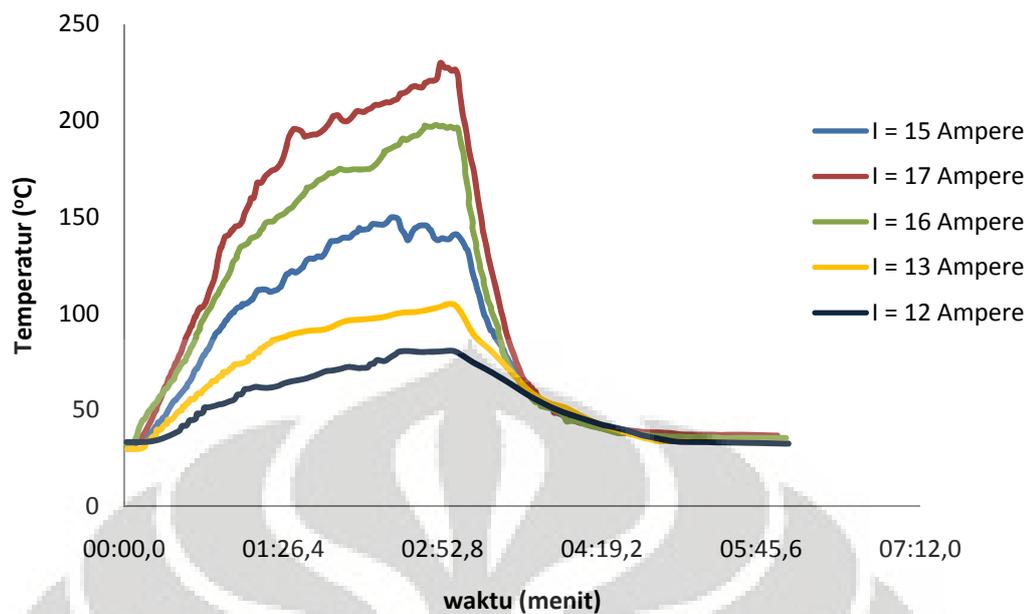
1. Melakukan percobaan pengambilan video asap pada luar ruangan maupun dalam ruangan.
2. Melakukan perhitungan luas asap hasil dari sistem pendeteksian dan membandingkannya dengan luas asap yang terlihat secara visual.
3. Melakukan percobaan validasi dari sistem ini dengan cara membandingkan waktu respon bahaya dari sistem video smoke detector dengan smoke detector tipe fotoelektrik.

Meskipun percobaan yang telah dilakukan sudah cukup banyak, namun penulis membatasi masalah yang dibahas pada skripsi ini menjadi sub-bab pada bab IV ini. Hal ini ditujukan agar pembahasan pada skripsi ini dilakukan dengan cukup sistematis dan terperinci.

IV.1 Hubungan Arus yang Dibebankan dengan Temperatur Permukaan Kabel

Asap yang terjadi pada penelitian yang kami lakukan adalah asap yang murni hasil dari pyrolisis. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab II, bahwa pyrolisis terjadi pada permukaan dari bahan bakar akibat hasil dari peningkatan temperatur. Pada penelitian ini, kami sengaja memberikan arus yang besar pada sebuah kabel dan kemudian kabel akan melepas uap atau volatile nya ke udara yang diikuti oleh rantai polimer yang terlepas akibat peningkatan temperatur ini sendiri. Volatile dan rantai polimer inilah yang merupakan visualisasi dari asap.

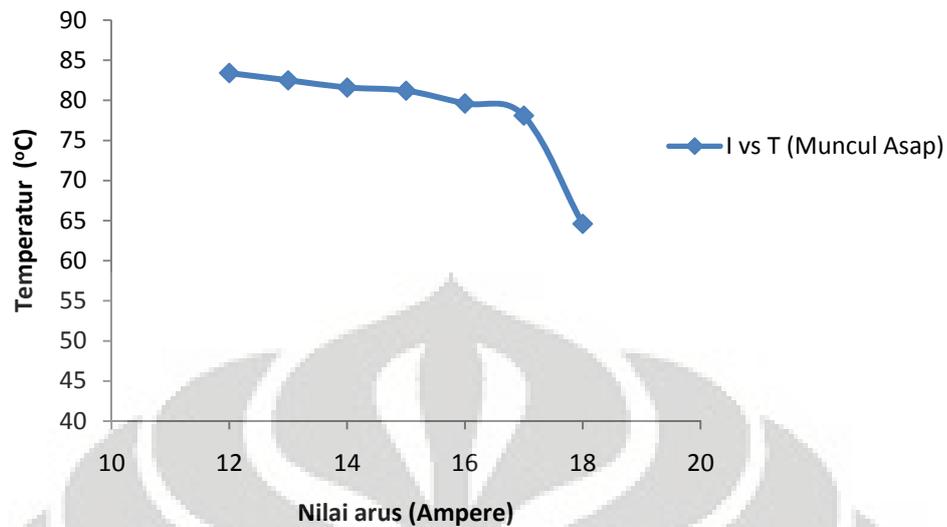
Pada pembakaran jenis pyrolisis, kami melihat kemungkinan bahwa jumlah asap yang dihasilkan akan sangat dipengaruhi oleh temperatur. Kami melakukan pengujian terhadap satu jenis kabel NYA yaitu dengan diameter 1.5 mm² dengan berbagai jumlah arus yang dibebankan. Di bawah ini adalah grafik temperature terhadap waktu dari kabel 1.5 mm² dengan arus tertentu



Gambar 4.1 Grafik T vs t Pada Kabel NYA 1.5mm² dengan berbagai nilai arus

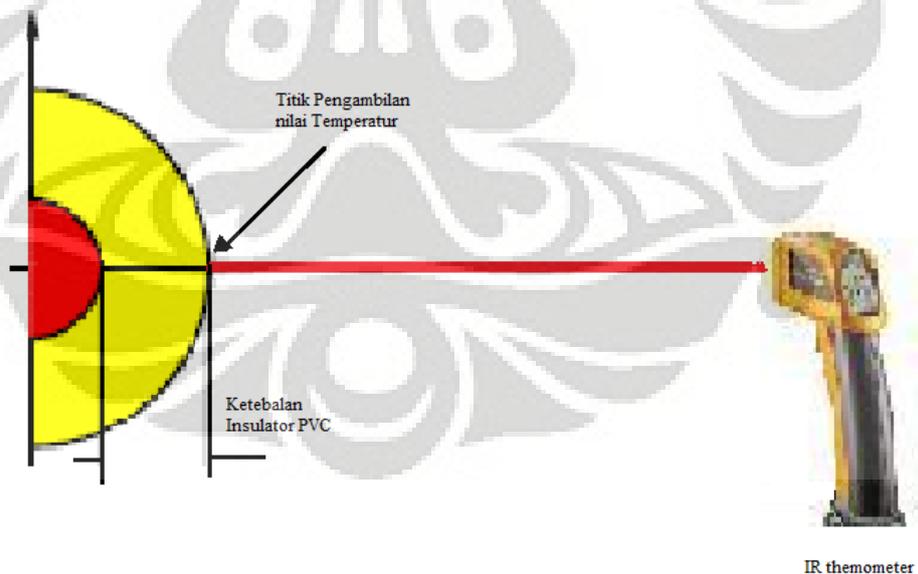
Pada grafik ini dapat dilihat bahwa semakin tinggi arus listrik yang dibebankan ke kabel, maka semakin tinggi pula temperatur yang akan dicapai kabel tersebut. Hal ini dapat dijelaskan karena semakin tinggi arus yang dibebankan melalui penghantar, yang kali ini adalah kabel, maka akan semakin tinggi rugi-rugi yang dialami kabel tersebut. Rugi-rugi tersebut akan berubah menjadi panas dan kemudian akan menyebabkan pyrolisis pada permukaan dari kabel. Grafik ini hampir sama dengan percobaan temperatur dari kabel dengan arus berlebih yang dilakukan oleh Rahkonen [2]

Namun demikian, pada masalah munculnya asap, hal ini terjadi kebalikannya. Untuk menjelaskannya, dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.2 Grafik Arus Vs Temperatur Saat munculnya Asap pada kabel 1.5mm²

Kami menganalisa ini disebabkan karena pengambilan nilai temperatur yang kami lakukan adalah nilai temperatur dari permukaan dari kabel. Nilai temperatur ini bukanlah nilai yang dimiliki kabel sebagai konduktor, melainkan nilai dari PVC sebagai insulator dari kabel tersebut.



Gambar 4.3 Ilustrasi Letak pengambilan data temperatur

PVC yang menjadi pelapis dari kabel ini juga merupakan insulator panas yang dikeluarkan dari kabel. Oleh sebab itu, pada saat permukaan insulator yang

bersinggungan dengan tembaga dari kabel mencapai temperatur untuk insulator terjadi pyrolysis, permukaan yang bersinggungan dengan udara luar belum mencapai temperatur yang sama. Karena itu, terjadi jeda (*delay*) pada temperatur luar untuk mencapai nilai yang sama pada temperatur dimana terjadi pyrolysis.

Peningkatan temperatur yang mendadak dan cukup tinggi akan membuat distribusi temperatur pada insulator tidak merata. Hal ini disebabkan karena insulator bukan merupakan konduktor panas yang baik. Maka pada bagian insulator yang menyentuh udara akan lebih dingin daripada temperatur insulator yang bersentuhan dengan tembaga. Hal ini tidak akan ditemui apabila peningkatan temperatur yang ada pada tembaga tidak meningkat dengan drastis. Jika temperatur tidak meningkat secara signifikan, maka yang terjadi adalah insulator mendapatkan cukup waktu untuk mengalirkan kalor secara konduksi ke seluruh permukaan insulator dan temperatur yang akan dibaca akan kurang lebih mendekati temperatur dari bagian yang mengalami pyrolysis.

Berdasarkan penelitian dari Rahkonen [2], selain hambatan dari insulator, terdapat sebuah tetapan yang juga membuat temperatur dari permukaan luar insulator lebih rendah daripada permukaan tembaga. nilai ini adalah hambatan kontak antara PVC dengan kabel. Nilai ini dirumuskan secara empiris sebagai berikut :

$$R_{ic} = \frac{A(T_1 - T_0)}{Q} \dots\dots\dots (4.1)$$

IV.2 Bentuk Asap hasil Pemanasan Kabel dan Pendeteksiannya

Pada sistem pendeteksian berbasis video yang kami lakukan secara singkatnya adalah pendeteksian dengan memanfaatkan proses pencitraan gambar. Gambar yang dimaksud adalah gambar yang diambil dari video maupun frame yang divisualisasikan pada real-time. Pada Bab II sudah dijelaskan bahwa pencitraan yang dilakukan adalah memisahkan antara objek bergerak yang dianggap sebagai foreground dari latar belakang yang dianggap sebagai background. Kami

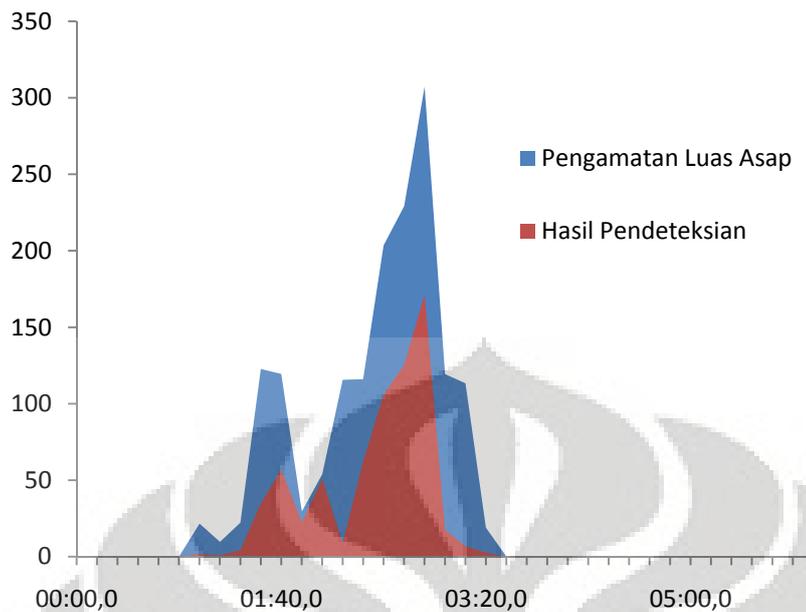
menggunakan adaptive gaussian mixture model sebagai alat untuk segmentasi objek bergerak terhadap background dan inferensi fuzzy sebagai alat pendefinisian objek asap.

Kami melakukan proses ini terhadap sample asap yang kami amati, yaitu asap yang kami variabelkan berdasarkan nilai arus yang dibebankan ke kabel. Lalu kemudian kami menghitung luasan asap yang dibaca oleh sistem pendeteksian berdasarkan nilai blob nya. Selain itu, kami juga melakukan penghitungan secara manual dengan software imageJ untuk mengetahui luasan asap yang sebenarnya. Perbandingan yang kami lakukan ini bertujuan untuk mengukur kemampuan dari sistem pendeteksian. Kami mencoba mengukur kehandalan dari sistem baru ini mendeteksi asap yang sebenarnya.



Gambar 4.4 Contoh hasil Pendeteksian dari Sistem Video Smoke Detector

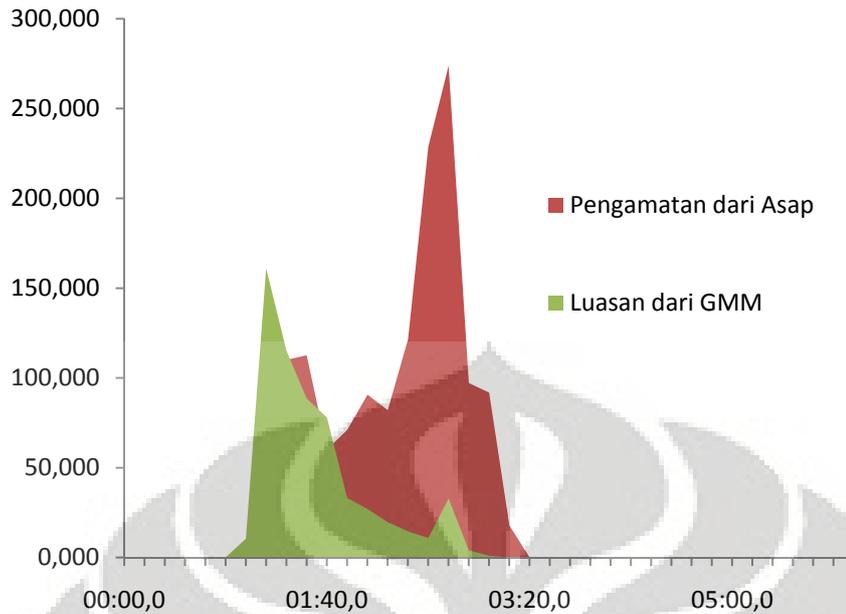
Gambar di atas adalah hasil pendeteksian yang dilakukan dari sistem pendeteksian yang kami kembangkan. Gambar di bawah ini adalah proses perhitungan nilai luasan asap yang kami lakukan secara manual dengan software ImageJ. Kami menghitung nilai luasan tersebut dan mendapat grafik hasil seperti dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Luas Asap Hasil Deteksi Terhadap Pengamatan Manual (arus 15A)

Grafik ini menggambarkan perbandingan hasil deteksi dari proses pencitraan dibandingkan terhadap pengamatan langsung yang kami lakukan dan kami hitung secara manual. Dari grafik yang dapat dilihat di atas, dapat dilihat bahwa masih ada luasan asap yang belum dideteksi oleh proses pencitraan gambar yang diaplikasikan pada sistem deteksi yang kami kembangkan. Hal ini murni disebabkan karena pada beberapa bagian asap yang cukup tipis sehingga GMM tidak dapat memisahkannya dari background. Hal ini akan membuat beberapa bagian dari asap yang memiliki opasitas kecil tidak dapat didefinisikan sebagai objek bergerak.

Jika dilihat dari grafik, terdapat sebuah celah dimana pada waktu tersebut asap mempunyai luasan yang cukup rendah namun kemudian akan meningkat kembali menjadi jauh lebih besar dari sebelumnya. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik pengamatan luasan asap yang terjadi pada arus yang berbeda, yaitu 16A.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Luas asap Hasil Deteksi Terhadap Pengamatan Manual (arus 15A)

Pada grafik dapat dilihat bahwa bentuk grafiknya kurang lebih sama dengan pada grafik sebelumnya meskipun arusnya lebih besar. Dapat dilihat bahwa terdapat nilai luasan yang kecil sebelum nilai luasan asap mencapai puncaknya. Keadaan ini dapat dianalisa jika kita mengerti kondisi dari pengambilan data dan jugsan mengerti bagaimana asap dari kabel dihasilkan.

Berdasarkan kedua kesamaan dari gambar (4.5) maupun (4.6), dapat ditarik kesimpulan bahwa pada keadaan sebenarnya, penelitian tentang luasan asap ini dapat dibagi menjadi tiga bagian besar. Pertama adalah fase dimana asap mulai muncul dan mulai terbentuk luasan. Kedua adalah fase dimana asap mulai memiliki kecepatan keatas yang cukup tinggi sehingga memiliki luasan dua dimensi yang kecil. Dan fase yang terakhir adalah fase dimana asap mulai meluas ke seluruh bagian dari sistem percobaan.

Ketiga fase dari asap tersebut memiliki karakter fisik masing-masing. Karakter fisik yang dimaksud adalah bentuk dari asap yang dihasilkan dan apa saja faktor yang mempengaruhinya. Penjelasan tentang faktor yang mempengaruhi tersebut akan dibahas pada sub-bab yang akan juga dilengkapi dengan penjelasan pendeteksiannya.

IV.2.1 Awal Munculnya Asap

Dalam proses pembakaran, kita tahu bahwa terdapat empat komponen penting dari pembakaran, yaitu oksigen (celah udara yang dapat masuk), bahan bakar, chain reaction, dan kalor. Keempat komponen ini berperan penting untuk menjelaskan proses pembakaran dari berbagai hal, termasuk juga proses pembakaran dalam kabel. Kabel yang terbakar secara pyrolisis juga sangat dipengaruhi oleh komponen diatas, terutama adalah bahan bakar dan kalor yang ada.

Pada Bab II telah dijelaskan bahwa gerakan asap sangat dipengaruhi gaya buoyancy yang dimiliki. Penelitian dari Morton [13] menjelaskan terjadinya distribusi gaussian pada peningkatan temperatur (ΔT), penurunan massa jenis ($\Delta \rho$) dan kecepatan naik (u) dari asap sebagai fungsi dari ketinggian. Distribusi gaussian dapat menjelaskan kesamaan sifat (self-similarity) dari $\Delta \rho$ dengan ΔT dan juga u dengan ΔT .

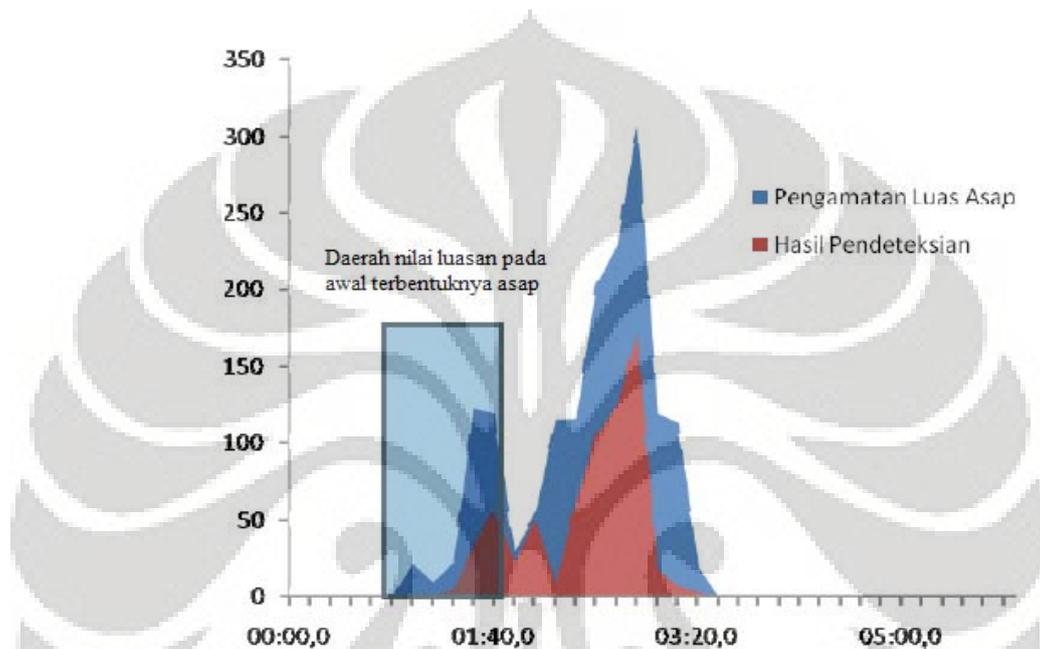
Pada saat awal terjadinya pyrolisis dari kabel, bahan bakar yang berlimpah tidak diimbangi dengan kalor yang mencukupi sehingga pyrolisis berjalan dengan lambat dan asap yang dihasilkan mempunyai opasitas yang kecil. Asap jenis ini cenderung untuk menyebar dengan ketinggian yang kurang dan penyebaran yang tidak merata. Gambar dibawah ini akan menjelaskan keadaan tersebut.



Gambar 4.7 Visualisasi asap pada awal munculnya (diambil pada detik ke-77) dengan arus 15A (sebelah kiri) dan 16 A (sebelah kanan)

Keadaan ini menggambarkan peningkatan temperatur yang belum tinggi. Secara matematis, peningkatan temperatur akan sangat berpengaruh pada gaya

buoyancy yang dimiliki oleh asap. Gaya buoyancy inilah yang mempengaruhi distribusi asap pada ruangan atau batasan dari sistem. Pada keadaan awal munculnya asap, gaya buoyancy yang belum besar mengakibatkan asap seperti terpendar ke banyak arah. Secara visual dua dimensi, hal ini mengakibatkan asap memiliki luasan yang cukup besar dan memiliki opasitas yang masih rendah.

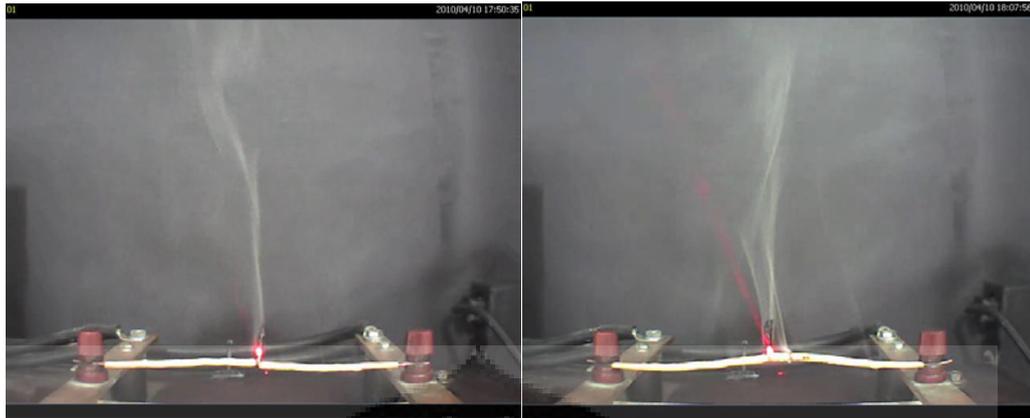


Gambar 4.8 Daerah nilai luasan pada keadaan awal terbentuknya asap

Pada keadaan ini, video smoke detector belum dapat mendeteksi keadaan ini karena pada beberapa frame, ketebalan asap belum mencukupi untuk dideteksi sebagai sebuah objek yang bergerak. Pendeteksian baru terjadi pada frame ke.. atau pada waktu ke

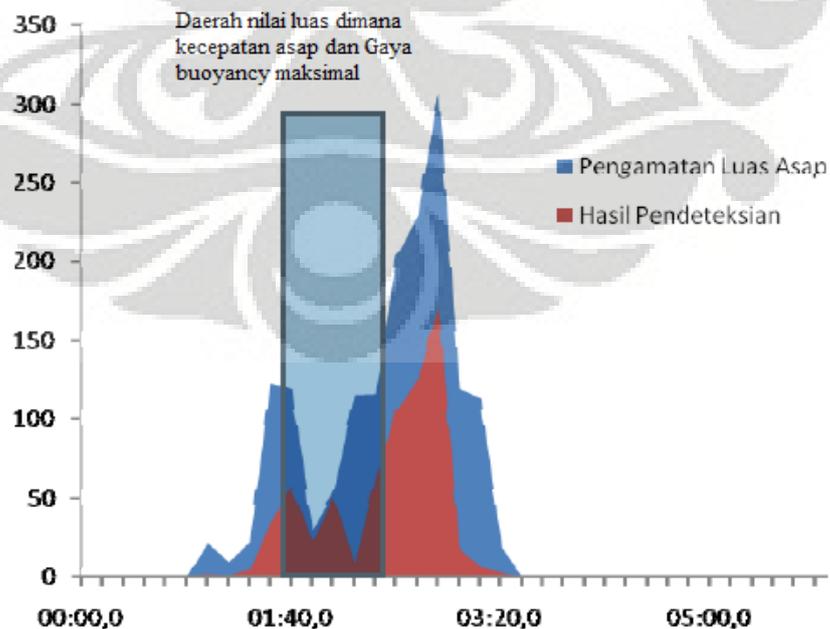
IV.2.2 Kondisi pada Luasan Asap berkurang

Pada keadaan selanjutnya, peningkatan temperatur yang terjadi pada kabel akan memungkinkan peningkatan dari gaya buoyancy dari asap sehingga asap akan mempunyai kecepatan yang cukup untuk mendorong asap keatas. Hasilnya adalah asap yang berbentuk lurus keatas dengan luas yang rendah.



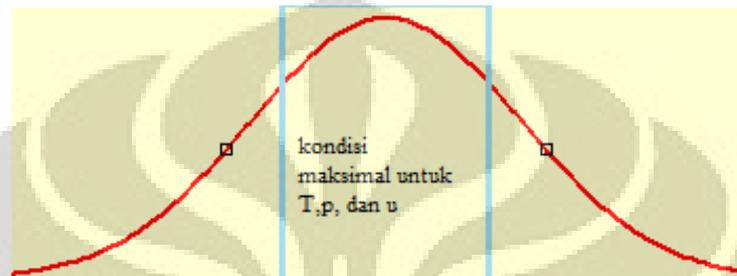
Gambar 4.9 Visualisasi asap diambil pada detik ke-95 dengan arus 15A (sebelah kiri) dan 16 A (sebelah kanan)

Meskipun memiliki kecepatan asap maupun gaya buoyancy pada titik ini mencapai nilai maksimal, namun untuk nilai luas dari asap, keadaan ini adalah bagian yang paling rendah diantara kedua bagian lainnya. Bentuk asap yang memanjang lurus ke atas menyebabkan secara dua dimensi, luas asap dari bagian ini menjadi kecil. Asap yang dihasilkan tidak menyebar maupun terdispersi ke segala arah. Gaya buoyancy yang maksimal menyebabkan gas maupun partikel yang ada di asap seakan-akan terdorong keatas sehingga visual dari asap pada bagian ini memanjang ke atas.



Gambar 4.10 Daerah pada nilai luas pada keadaan kecepatan asap maksimal

Keadaan ini menggambarkan peningkatan temperatur terjadi pada kabel yang akhirnya mengakibatkan kecepatan kenaikan asap meningkat. Gaya buoyancy yang mencapai puncaknya mengakibatkan terdorongnya asap menuju ke atas dan tidak terdispersi. Hal ini yang menyebabkan bentuk asap yang memanjang dan memiliki luasan yang kecil.



Gambar 4.11 posisi pada distribusi gaussian untuk hubungan peningkatan temperatur, density kecepatan (Morton,1956)

Pada gambar (4.8) dapat diambil kesimpulan bahwa kecepatan kenaikan asap berada pada titik maksimal. Kondisi tersebut ternyata juga dipengaruhi oleh gradien kenaikan temperatur yang juga mempengaruhi densitas dari asap. Kondisi ini dijelaskan pada penelitian dari Morton [13] yang menyimpulkan bahwa hubungan dari temperatur, kecepatan kenaikan dari plume maupun densitas akan membentuk distribusi gaussian seperti dijelaskan pada gambar (4.9).

Untuk masalah pendeteksian, sistem pendeteksi dari video smoke detector tidak menemui kesulitan dalam membedakan objek asap terhadap objek lain pada pengamatan. Hal ini dikarenakan opasitas yang baik pada bagian ini sehingga asap terlihat tebal memanjang. Kecepatan dari asap cukup besar dan juga arahnya tetap. Hal ini memudahkan sistem inferensi *fuzzy* dalam melakukan klasifikasi dari asap. Seperti yang telah dijelaskan pada penelitian Suwarno [6], bahwa sistem inferensi fuzzy yang digunakan mempunyai tiga desain sistem yaitu kecepatan, arah dan luas. Karena itu, sistem pendeteksian dapat dengan mudah mengklasifikasikan pada bagian ini.



Gambar 4.12 Hasil pendeteksian pada keadaan kecepatan asap maksimal

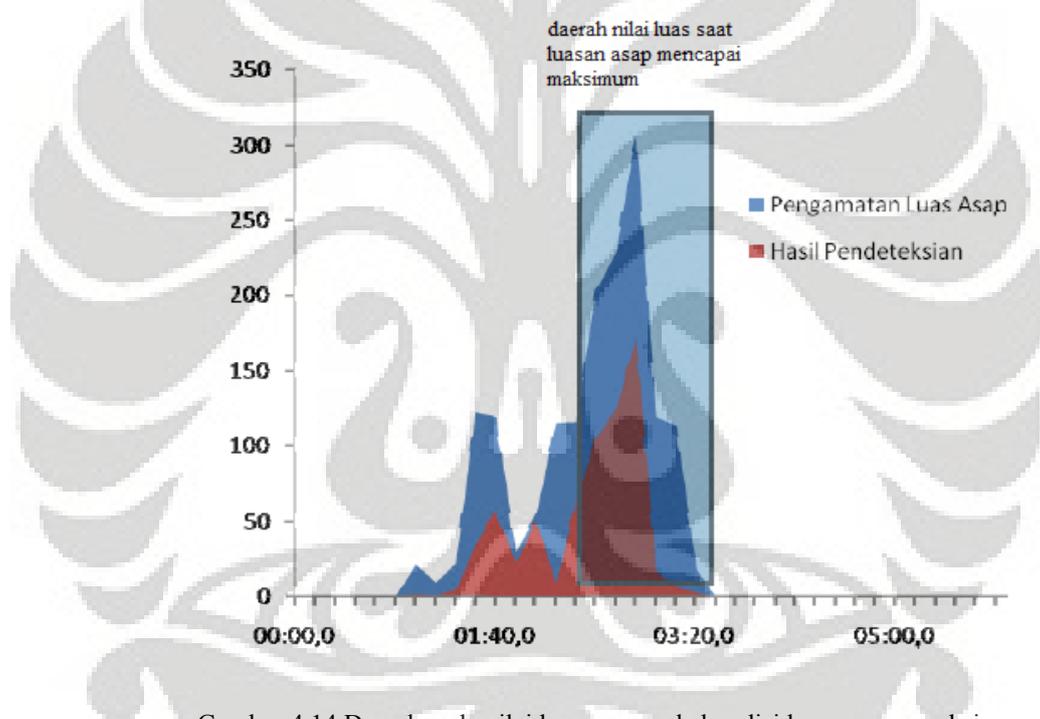
IV.2.3 Kondisi akhir munculnya asap

Pada bagian terakhir dari grafik adalah nilai puncak dari grafik luasan. Pada keadaan ini, luas dari asap mencapai nilai tertingginya dan juga opasitas dari asap meningkat. Ciri-ciri asap pada keadaan ini adalah asap yang bervariasi opasitasnya dan memiliki penyebaran yang luas sehingga luas asapnya meningkat drastis



Gambar 4.13 Visualisasi asap diambil pada detik ke-170 dengan arus 15A (sebelah kiri) dan 16 A (sebelah kanan)

Pada keadaan ini, meskipun temperatur sudah mencapai nilai yang tinggi, namun bahan bakar yang tersisa dari titik awal terbentuknya asap sudah mulai berkurang. Kondisi ini yang menyebabkan asap yang dihasilkan tidak lagi dari titik kritis dari kabel (sambungan kabel) melainkan dari berbagai titik di dekat kabel. Jika dihitung, maka luasan asap pada bagian ini memiliki nilai yang paling tinggi dari keadaan-keadaan sebelumnya yang telah dijelaskan di atas. Keadaan ini adalah bagian terakhir dari kebakaran kabel karena yang terjadi kemudian, nilai temperatur tidak lagi meningkat secara signifikan dan bahan bakar dari insulator kabel sudah mulai berkurang.



Gambar 4.14 Daerah pada nilai luas asap pada kondisi luasan asap maksimum

Keadaan nilai temperatur yang cukup stabil mengakibatkan perubahan densitas yang tidak signifikan. Hal ini menyebabkan gaya buoyancy dari asap kecil sehingga asap maupun partikel-partikel di dalamnya tidak terdorong ke atas. Yang terjadi adalah terdispersinya asap maupun partikel yang dibawanya ke segala arah. Hal ini yang membuat bentuk asap meluas.

Dalam hal pendeteksian, kondisi asap jenis ini memungkinkan sistem pendeteksian untuk mendeteksi keadaan asap dengan cukup baik. Namun

demikian, terjadi perbedaan nilai luas yang cukup signifikan antara hasil pendeteksian dengan hasil dari penglihatan secara visual. Sistem fuzzy yang digunakan memiliki tiga buah desain sistem fuzzy berdasarkan aturan-aturannya. Sistem ini mengklasifikasikan asap berdasarkan nilai luas, kecepatan dan arah. Saat terjadi sekumpulan luasan asap yang terlihat statis atau bergerak lambat ke segala arah, sistem inferensi fuzzy tidak akan mengklasifikasikan sejumlah luasan tersebut menjadi asap karena masih ada dua komponen dari sistem yang tidak terpenuhi. Hal inilah yang menyebabkan perbedaan yang signifikan antara nilai luas yang terlihat oleh mata dengan nilai luas yang dihitung dari sistem pendeteksian.



Gambar 4.15 Hasil pendeteksian pada kondisi luas asap maksimum

IV.3 Validasi Sistem Video Smoke Detector dengan Perbandingan Terhadap Sistem Pendeteksian Smoke Detector Fotoelektrik

Pada bagian ini, kami akan menjelaskan proses validasi dari sistem pendeteksian berbasis pencitraan gambar yang kami kembangkan terhadap sistem pendeteksian yang sudah ada dan sudah dipakai secara massal baik oleh industri maupun residensial.

Sistem yang kini paling sering dipakai baik oleh industri maupun residensial adalah sistem deteksi asap dengan smoke detector. Sistem ini telah dipercaya kehandalannya maupun aplikasinya pada sistem pendeteksian

kebakaran. Beberapa penelitian mengenai smoke detector telah banyak dilakukan banyak orang. Penelitian tentang smoke detector ini diantaranya adalah penelitian dari Makhadir [6] dengan tujuan memperoleh nilai waktu respon yang paling baik untuk beberapa kondisi dari peletakan smoke detector.

Sistem video smoke detector yang kami kembangkan mempunyai teknik pendeteksian yang jauh berbeda dengan apa yang digunakan smoke detector. Pada smoke detector jenis ionisasi, ion yang dibawa asap akan memicu smoke detector untuk menyala dan memberi sinyal bahaya. Sedangkan smoke detector jenis fotoelektrik mendeteksi asap dari seberapa besar opasitas dari asap menghalangi sensor laser yang ada dalam sehingga smoke detector dapat memberi sinyal bahaya apabila nilai opasitas dari asap telah cukup.

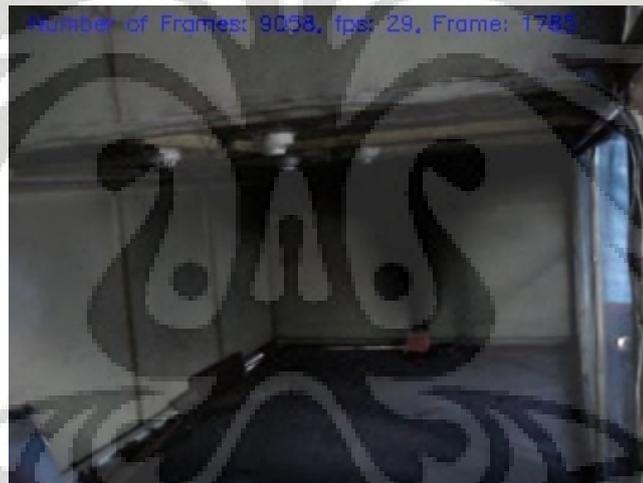
Kami mengkalibrasi sistem pendeteksian kami dengan perbandingan waktu respon dengan smoke detector jenis fotoelektrik. Hal ini dimaksudkan agar video smoke detector dapat mempunyai waktu respon yang kurang lebih mendekati sistem detektor yang sudah ada. Prosesnya adalah melakukan pembakaran terhadap polysterene yang menghasilkan asap dan mengaktifkan kedua sistem deteksi hingga didapat waktu respon dari smoke detektor. Waktu respon tersebut akan digunakan untuk pembandingan terhadap sistem deteksi yang kami lakukan terhadap video dari asap hasil pembakaran yang kami ambil bersamaan.



Gambar 4.16 Peletakan Video Smoke Detector dan Smoke Detector Fotoelektrik pada Percobaan Kalibrasi Video Smoke Detector

Pada lubang yang ditunjukkan gambar, kamera digital akan diletakkan untuk merekam gambar yang kemudian akan diolah dengan proses pencitraan gambar sehingga dapat diketahui waktu respon yang didapat. Waktu respon yang dimaksudkan adalah waktu hingga software yang dikembangkan menyebutkan bahwa terdapat asap pada video tersebut. Waktu ini akan dibandingkan dengan waktu yang didapat pada smoke detector sebelumnya.

Hasil dari percobaan menunjukkan bahwa smoke detector memberikan sinyal bahaya pada waktu 1 menit 54 detik (104 detik). Sinyal bahaya ini diindikasikan dengan suara bahaya yang cukup keras. Sedangkan visual asap bisa dilihat sejak detik ke-61.



Gambar 4.17 Frame video pada saat asap mulai terlihat

Kemudian kami melakukan percobaan dengan berbagai nilai threshold pada GMM agar mendapatkan pendeteksian yang baik tanpa terjadi kesalahan pendeteksian. Setelah melakukan beberapa percobaan terhadap nilai threshold, didapatkan nilai threshold yang cukup baik agar tidak terjadi kesalahan pendeteksian. Nilai threshold yang dipakai adalah 0,7 untuk background threshold dan 6,5 untuk standard threshold. Hasilnya, pendeteksian terjadi pertama pada

frame ke-3015. Bila dikonversikan menjadi satuan waktu, maka video smoke detector mendeteksi pada waktu 103 detik.

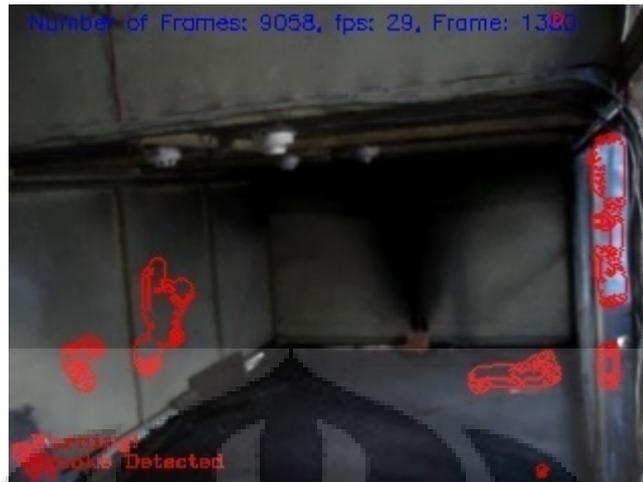


Gambar 4.18 Hasil pencitraan gambar

Dari pendeteksian ini, dapat diketahui bahwa waktu pendeteksian baik dengan smoke detector maupun dengan sistem video smoke detector memiliki waktu yang relatif sama. Meskipun demikian, secara visual asap sudah terlihat sebelumnya pada video.

Meskipun asap secara visual sudah terlihat sebelumnya, tapi dengan threshold yang tinggi dapat menyebabkan beberapa bagian dari asap tidak terdeteksi. Nilai threshold yang rendah dapat memungkinkan visualisasi asap yang dilihat dengan mata telanjang maupun secara proses pencitraan gambar akan mempunyai hasil yang sama.

Namun demikian, pendeteksian dengan nilai threshold yang kecil dapat menyebabkan kesalahan pendeteksian. Kesalahan ini biasanya disebabkan oleh perubahan kecil yang meyerupai gerakan asap. Sebagai contoh, perubahan bayangan dari benda maupun orang dapat dideteksi sebagai asap. Hal ini disebabkan bayangan mempunyai intensitas yang tipis dan tidak menghalangi benda tersebut. Kedua ciri-ciri ini dimiliki juga oleh asap. Contoh dari kesalahan pendeteksian adalah seperti di bawah ini.



Gambar 4.19 Contoh kesalahan pendeteksian

Pada percobaan untuk validasi yang kedua, kami melakukan percobaan skala lab dengan menggunakan asap dari kabel. Sama dengan percobaan sebelumnya, kami mencari nilai waktu respon dari smoke detector untuk dibandingkan dengan waktu pendeteksian yang didapatkan oleh proses pencitraan gambar dari video smoke detector. Hal yang berbeda pada percobaan skala lab ini, jarak antara smoke detector maupun IP camera dai video smoke detector ini disamakan jaraknya. Nilai threshold yang digunakan untuk proses validasi ini disamakan seperti nilai pada percobaan sebelumnya.



Gambar 4.20 Frame Video pada proses validasi kedua

Pada percobaan validasi kedua ini, waktu respon dari smoke detector adalah 2 menit 2 detik (122 detik). Pada video smoke detector, asap sudah dideteksi pada

frame ke 570 atau pada detik ke-38. Dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan yang mencolok pada waktu pendeteksian tersebut.



Gambar 4.21 Frame video hasil pendeteksian dan blob-nya

Perbedaan yang cukup besar dari kedua jenis detektor ini dapat dianalisa dari proses pendeteksian yang menjadi basis dari detektor. Pada smoke detector fotoelektrik, yang menjadi pemicu dari alarm adalah partikel asap yang menghamburkan cahaya dari sensor. Artinya, jumlah partikel asap yang bersentuhan dengan sensor harus cukup besar sehingga dapat menghamburkan cahaya dari sensor. Ketebalan partikel asap yang dinilai dari opasitas asap harus cukup untuk memicu alarm.

Berbeda dengan sebelumnya, video smoke detector mendeteksi gerakan dari asap dan luas asap dibandingkan dengan besarnya background. Video smoke detector tidak membutuhkan asap yang tebal untuk mendeteksi dan memutuskan keadaan bahaya. Gerakan, luasan, kecepatan, dan intensitas dari asap merupakan nilai-nilai yang digunakan dari program video smoke detector untuk menentukan apakah asap tersebut berbahaya atau tidak.

BAB V

PENUTUP

Bab terakhir ini akan berisi berbagai kesimpulan dari hasil penelitian yang penulis lakukan. Selain itu juga saran-saran dalam pengembangan sistem deteksi asap ini selanjutnya.

V.1 Kesimpulan

Setelah melakukan berbagai percobaan dan mengambil analisa seperti yang dibahas pada bab-bab sebelumnya, Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Besarnya arus yang dibebankan pada kabel akan sangat mempengaruhi nilai temperatur yang dicapai oleh kabel tersebut
2. Nilai temperatur munculnya asap akan semakin mengecil seiring dengan bertambahnya arus yang dilewatkan pada kabel. Hal ini disebabkan oleh distribusi temperatur pada insulator yang terbakar tidak sempurna, sehingga perubahan suhu pada permukaan kabel yang terbakar tidak sama dengan nilai perubahan suhu yang diambil datanya.
3. Produksi asap maupun mekanika gerakan asap sangat dipengaruhi oleh waktu maupun temperatur dari sumber asap. Mekanika asap juga dipengaruhi oleh energi yang dimiliki dari partikel-partikel asap. Pendeteksian dari video smoke detector akan sangat baik hasilnya pada keadaan dimana asap memiliki kecepatan yang besar dan arah gerak yang jelas.
4. Pada percobaan validasi sistem pendeteksi asap dengan video, perbandingan sistem terhadap smoke detector menunjukkan bahwa waktu respon bahaya dari smoke detector maupun video smoke detector hampir sama pada percobaan di koridor. Sedangkan pada percobaan skala

laboratorium, video smoke detector memiliki waktu respon yang lebih cepat dari smoke detector.

V.2 Saran

Setelah melakukan percobaan dan validasi pada video smoke detector, kami menyarankan beberapa hal untuk perkembangan sistem ini kedepannya.

1. Perlunya pengembangan lanjutan tentang pemrograman dari pencitraan gambar yang menjadi basis dari video smoke detector ini. Pengembangan ini diharapkan dapat membuat proses pendeteksian dari detector ini semakin handal dan dapat dipercaya
2. Perlunya penelitian lagi tentang mekanika asap dengan mendetail sehingga fenomena munculnya asap dari kebakaran kabel dapat dijelaskan secara fisik. Sehingga pencegahannya dapat diteliti sebagai sebuah objek yang khusus
3. Perlunya penelitian tentang sistem cerdas yang mengintegrasikan antara sistem pendeteksian dengan sistem pencegahan kebakaran. Video smoke detector adalah sistem pendeteksi cerdas berbasis data digital, maka sangat memungkinkan melakukan integrasi sistem ini dengan sistem pencegahan seperti watermist atau sistem pencegahan lainnya.

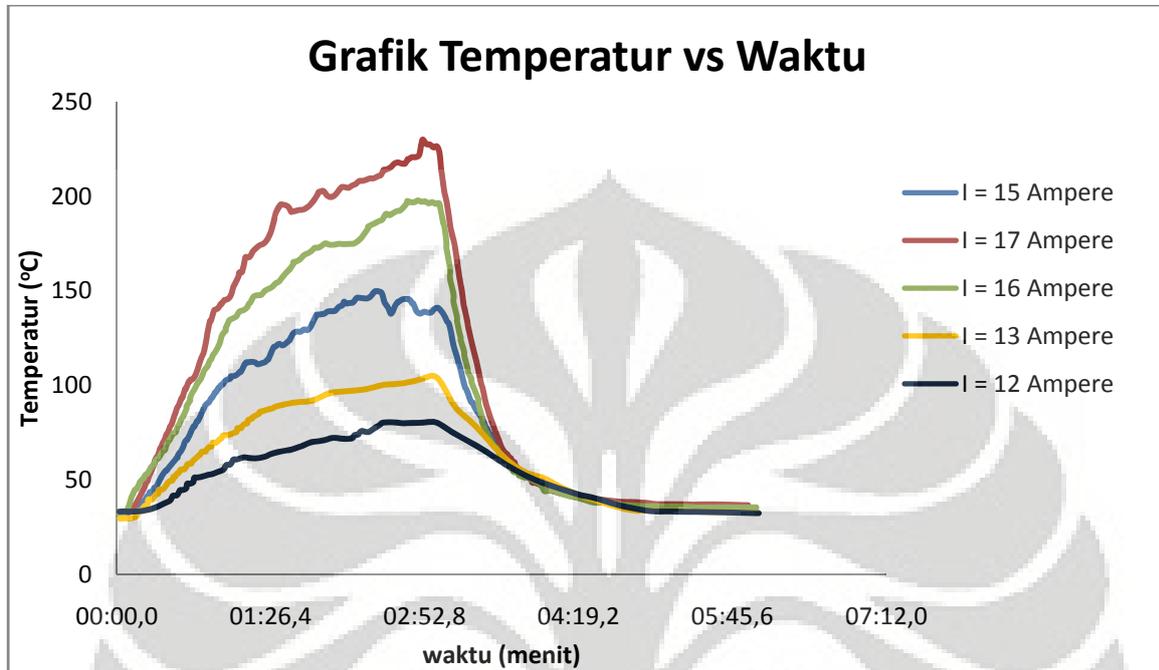
DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Dinas Kebakaran DKI Jakarta. (2009) Data Kebakaran Tahun 2009. Jakarta
- [2]. Rahkonen, OK., Mangs, Johan. (1999). Ignition of and Fire Spread on Cables and Electric Components. VTT Technical Research Centre of Finland.
- [3]. Marbach, G. Loepfe, M. Image Processing technique for fire detection in video image. Fire Safety Journal. Elseiver. 2006
- [4]. Wieser D, Brupbacher T. Smoke detection in tunnels using video images. 12th international conference on automatic fire detection, Gaithersburg, USA; March 2001.
- [5]. Brabauskas V Dr, How Do Electrical Wiring Faults lead to structure Ignitions. Internatioanl Fire & Material Conference. San Fransisco, USA, pp 39-50
- [6]. Suwarno. (2010). Sistem Deteksi Asap Berbasis Video Untuk Deteksi Dini Kebakaran Menggunakan Adaptive Gaussian Mixture Model dan Sistem Inferensi Fuzzy. Depok: Fakultas Ilmu Komputerm Universitas Indonesia.
- [7]. Makhadir. (2009). Pengaruh Geometri Ruang dan Jenis Pembakaran terhadap Pergerakan dan Waktu Deteksi asap. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [8]. Mulholland, GW. (2002). *Smoke Production and Properties*. Chapter 13, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, pp. 2-258 – 2-268.
- [9]. C. Stauffer and W.E.L. Grimson, (1999). “*Adaptive Background Mixture Models for Read-Time Tracking*”, Proc. IEEE Computer Society Conf. Computer Vision and Pattern Recognition.

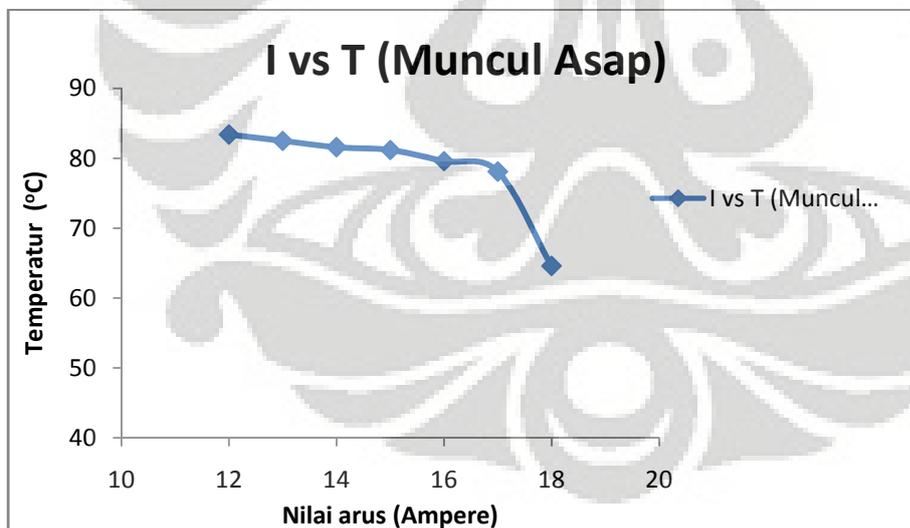
- [10]. C. Stauffer and W.E.L Grimson, (2000) “*Learning Patterns of Activity Using Real-Time Tracking*”, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence,
- [11]. Kaewtrakulpong, P. & Bowden, R. (2001). *An improved adaptive background mixture model for realtime tracking with shadow detection*.
- [12]. Drysdale, D. 1998. An introduction to Fire Dynamics 2nd Edition. England : John Wiley & Sons.
- [13]. Morton, B.R., Taylor, G., dan Turner, J.S. (1956). “Turbulent gravitational convection from maintained and instantaneous sources”. Proceedings of the Royal Society (London). A234, 1-23
- [14]. Heskestad, G.(1972). “Similarity relations for the initial convective flow generated by fire”. American Society of Mechanical Engineers, Winter annual Meeting, New York, November 26-30.
- [15]. Adrianus. (2008). “Pengaruh jenis sambungan kabel listrik terhadap potensi bahaya kebakaran”. Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [16]. Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control, 338-353

LAMPIRAN

A.1 Grafik Hasil Pengukuran Temperatur Tiap Arus

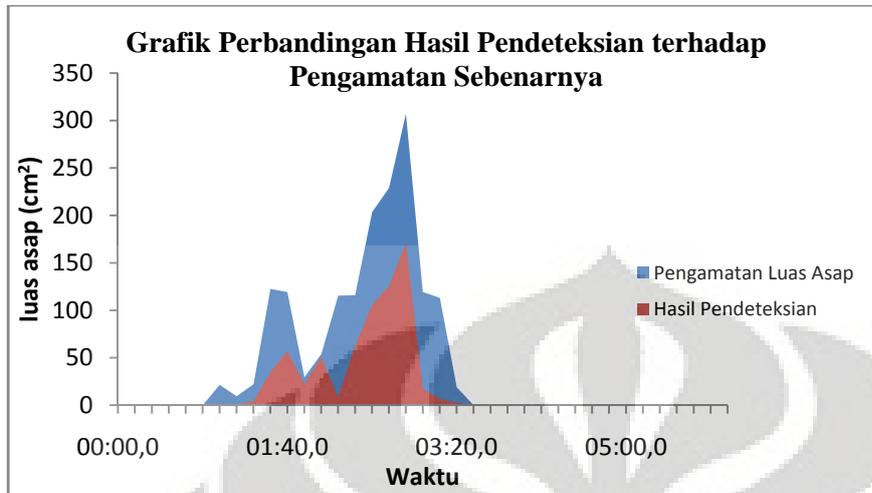


A.2 Grafik Arus vs Temperatur pada munculnya Asap

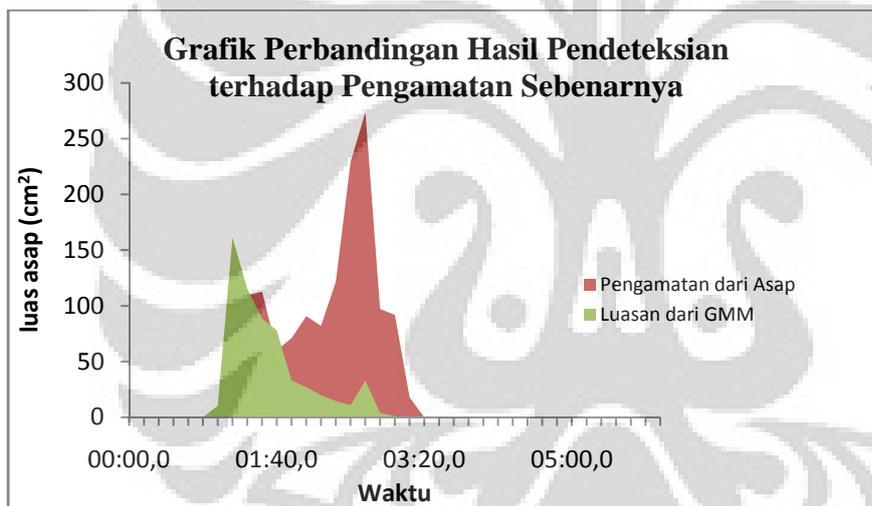


A.3 Data Nilai Asap Hasil Perbandingan Luas Asap Hasil Pendeteksian dengan Hasil

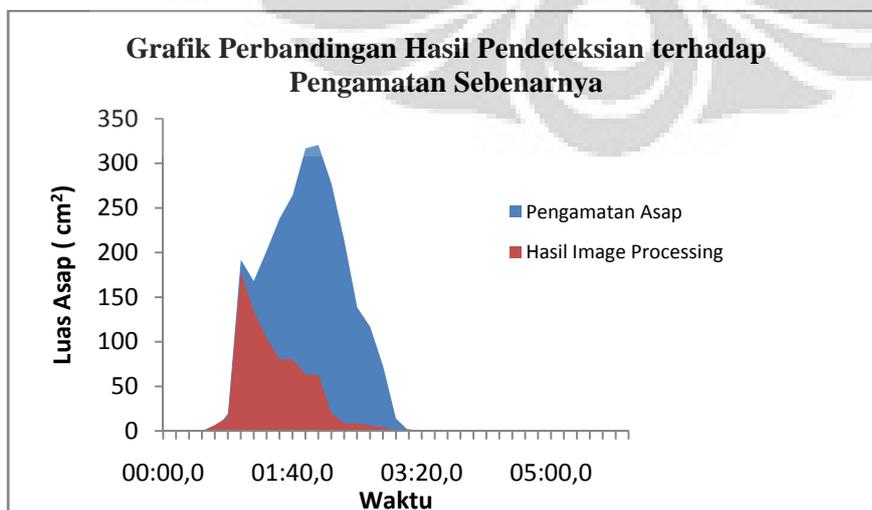
Arus 15 A



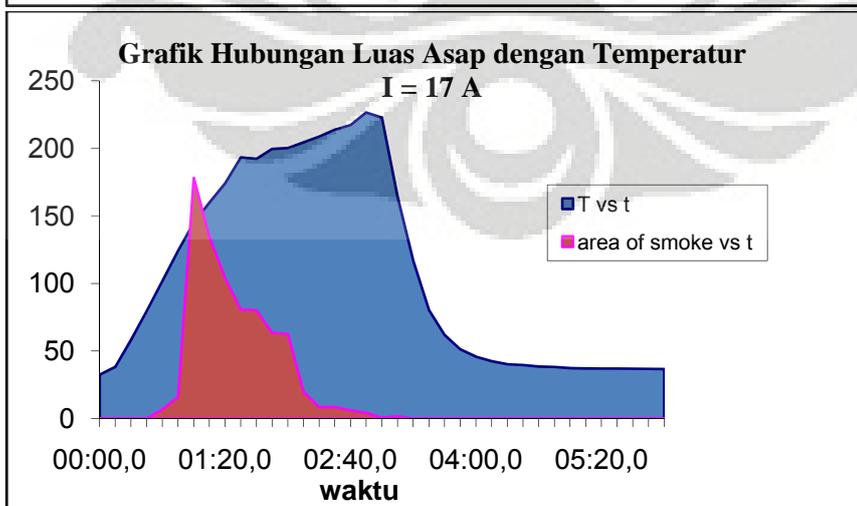
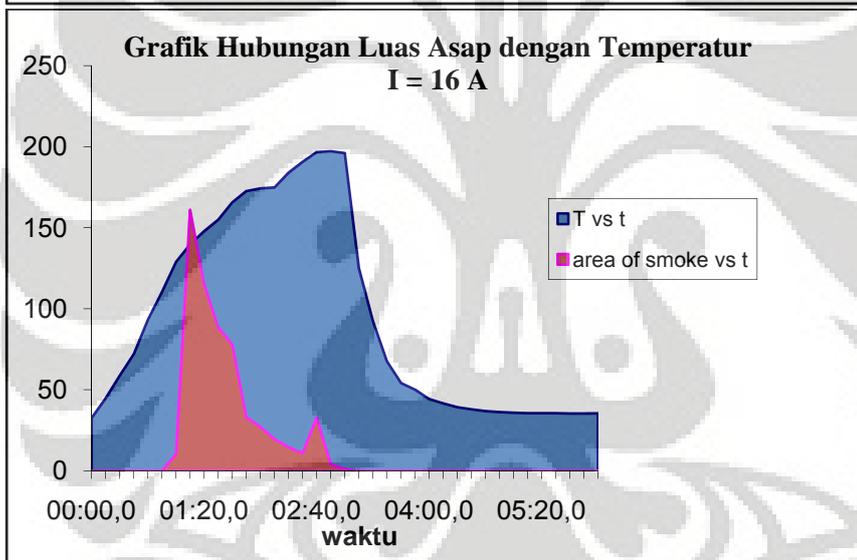
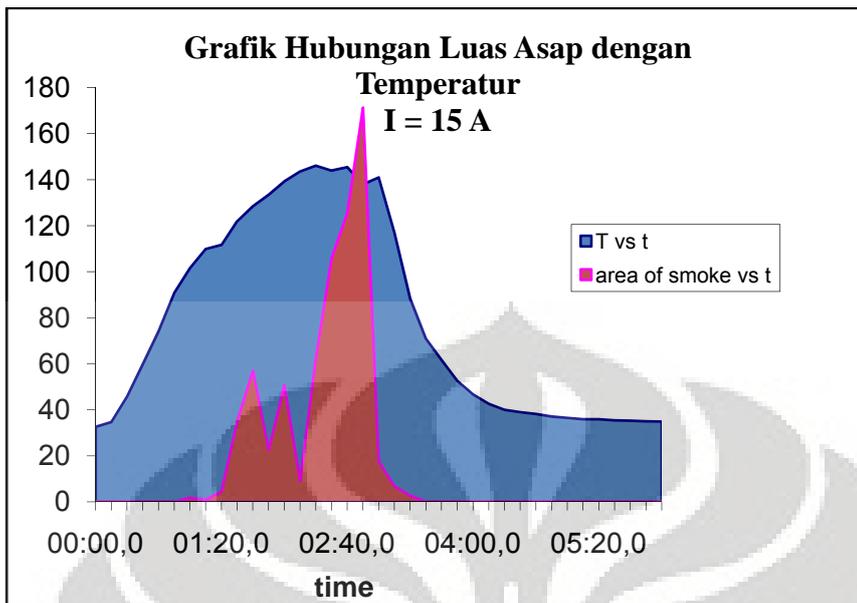
Arus 16 A



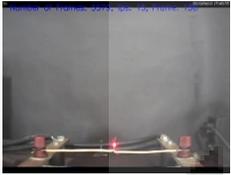
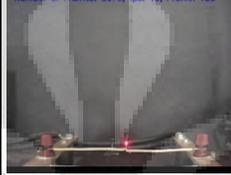
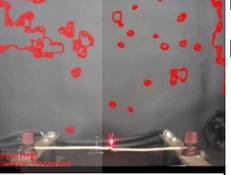
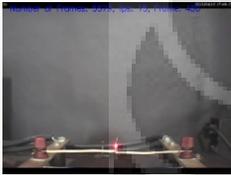
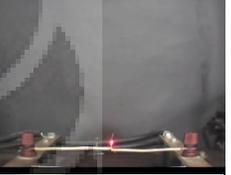
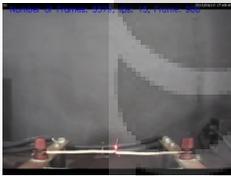
Arus 17 A

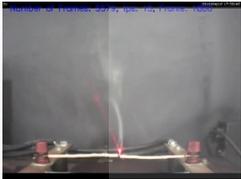
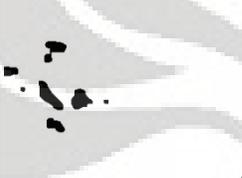
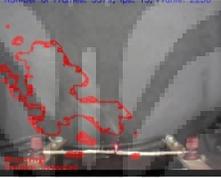
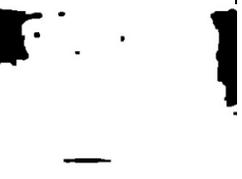
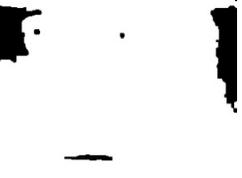


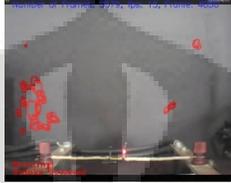
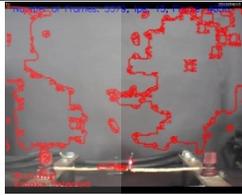
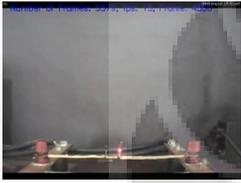
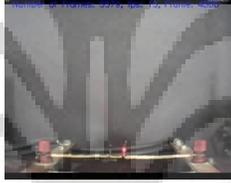
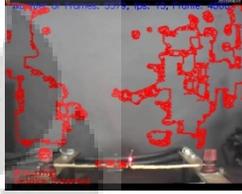
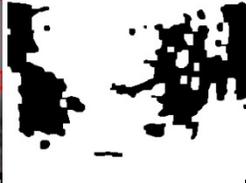
A.4 Grafik Hubungan Luas Asap dengan Temperatur



Tabel perbandingan Parameter GMM dengan sample 1.5mm arus 15 A

T (s)	T (oC)	parameter default		Threshold :0.1 & 4, weight 0.01		Threshold :0.1 & 3, weight 0.005	
Time (s)	Temp (oC)	video frame	Blob	video frame	blob frame	video frame	blob frame
00:00.0	32.6						
00:30.0	59.8						
01:00.0	101.6						
01:30.0	122						

02:00.0	139.3						
02:30.0	144						
03:00.0	141						
03:30.0	70.9						
04:00.0	46.7						

04:30.0	39						
05:00.0	36.5						
05:30.0	35.4						
06:00.0	34.9						