



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN DENSITAS KEPULAN ASAP DARI
PEMANASAN MATERIAL SELULOSA SEBAGAI DASAR
PENGEMBANGAN SISTEM DETEKSI ASAP BERBASIS
CITRA**

SKRIPSI

TRI CAHYO WIBOWO

0706267383

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN DENSITAS KEPULAN ASAP DARI
PEMANASAN MATERIAL SELULOSA SEBAGAI DASAR
PENGEMBANGAN SISTEM DETEKSI ASAP BERBASIS
CITRA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tri Cahyo Wibowo

0706267383

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PENGUKURAN DENSITAS KEPULAN ASAP DARI PEMANASAN MATERIAL SELULOSA SEBAGAI DASAR PENGEMBANGAN SISTEM DETEKSI ASAP BERBASIS CITRA

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Skripsi ini merupakan skripsi yang dikerjakan bersama dengan rekan saya saudara Fakhurrozi (0706266992) sehingga harap maklum jika terdapat beberapa bagian dari buku ini yang memiliki kesamaan.

Nama : Tri Cahyo Wibowo

NPM : 0706267383

Tanda Tangan :

Tanggal : 12 Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Tri Cahyo Wibowo

NPM : 0706267383

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi :

**PENGUKURAN DENSITAS KEPULAN ASAP DARI PEMANASAN
MATERIAL SELULOSA SEBAGAI DASAR PENGEMBANGAN SISTEM
DETEKSI ASAP BERBASIS CITRA**

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 : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng. ()

Penguji : Dr. Ir. H. Danardhono Agus Sumarsono, DEA. ()

Penguji : Ardiansyah, S.T., M.Eng ()

Ditetapkan di : Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 12 Juli 2011

UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ثُمَّ أَسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ وَهِيَ دُخَانٌ فَقَالَ لَهَا
وَالْأَرْضِ أَقْبِيَا طَوْعًا أَوْ كَرْهًا قَالَتَا أَتَيْنَا طَائِعِينَ ﴿١١﴾

“Kemudian Dia menuju kepada penciptaan langit dan langit itu masih merupakan asap, lalu Dia berkata kepadanya dan kepada bumi: "Datanglah kamu keduanya menurut perintah-Ku dengan suka hati atau terpaksa." Keduanya menjawab: "Kami datang dengan suka hati."” (Q.S. Fushshilat:11).

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan nikmat ilmu yang melimpah yang tertuang indah dalam susunan ayat-ayat suci Al-Qur’an sehingga menjadi inspirasi kepada penulis untuk menyusun skripsi dengan judul:

PENGUKURAN DENSITAS KEPULAN ASAP DARI PEMANASAN MATERIAL SELULOSA SEBAGAI DASAR PENGEMBANGAN SISTEM DETEKSI ASAP BERBASIS CITRA

Penulisan skripsi ini selain merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana di Teknik Mesin FTUI juga merupakan sebuah karya yang diharapkan menjadi sebuah amalan dari ilmu yang telah diperoleh penulis selama masa perkuliahannya.

Karya tulis ini tidak akan pernah selesai tanpa bantuan berbagai pihak yang selalu memberi bermacam dukungan, maka penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak dan Ibu yang telah memberikan pendidikan penuh arti serta berjuang dengan sepuh hati.
2. Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D sebagai pembimbing baik dalam penyusunan tugas akhir dan perkuliahan yang selalu memberikan bimbingan dan motivasi.

3. Dr.Eng. Muhammad Rahmat Widyanto yang telah memberikan bimbingannya.
4. Mohammad Aditya, S.T., M.Sc dan Dr.Eng, Ario Sunar Baskoro, S.T.,M.T.,M.Eng., yang telah memberikan inspirasi dan motivasi baik di dalam maupun di luar perkuliahan.
5. Saudara Fakhrurrozi sebagai teman skripsi yang selalu membantu dan mengingatkan untuk shalat tepat waktu.
6. Saudara Arian Dwi Putra dan Saudara Hendra Gunawan Santoso yang menjadi sahabat dalam penyusunan tugas akhir.
7. Saudara Anton Royanto Ahmad, Saudara Abdul Jabbar, Saudara Ricky Ardiansyah, Saudara Mardi Santoso, Saudara Lucky Jayadi, dan Saudara Faris Najmuddin Zahir yang membuat ukhuwah menjadi terasa begitu indah.
8. Rekan-rekan Tim SEM UI yang telah menjadi sahabat yang begitu berharga.
9. Rekan-rekan Badan Eksekutif Mahasiswa FTUI dan Ikatan Mahasiswa Mesin FTUI yang telah mengisi hari-hari perkuliahan di kampus tercinta.
10. Seluruh pengajar dan karyawan DTM-FTUI yang telah membantu dalam waktu 4 tahun ke belakang ini.
11. Semesta yang selalu memberikan inspirasi dan menyejukkan hati.

Penulis menyadari bahwa di dalam karya tulis ini terdapat ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari seluruh pihak agar penelitian berikutnya dapat menjadi lebih baik dan lebih bermanfaat.

Akhir kata, semoga karya yang sederhana ini mampu menjadi rujukan tambahan untuk rekan-rekan yang sedang menimba ilmu dan membutuhkan informasi serta penulis berharap semoga karya ini dapat menjadi sebuah tabungan amal yang memiliki nilai di hadapan Allah SWT.

Depok, Juli 2011

Tri Cahyo Wibowo
NPM 0706 267 383

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

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

Nama : Tri Cahyo Wibowo

NPM : 0706 267 383

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 Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah yang berjudul :

**PENGUKURAN DENSITAS KEPULAN ASAP DARI PEMANASAN
MATERIAL SELULOSA SEBAGAI DASAR PENGEMBANGAN SISTEM
DETEKSI ASAP BERBASIS CITRA**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / format-kan, mengelola dalam bentuk pengkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan 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 : 12 Juli 2011

Yang menyatakan

(Tri Cahyo Wibowo)

ABSTRAK

Nama : Tri Cahyo Wibowo

Program Studi : Teknik Mesin

Judul :

PENGUKURAN DENSITAS KEPULAN ASAP DARI PEMANASAN MATERIAL SELULOSA SEBAGAI DASAR PENGEMBANGAN SISTEM DETEKSI ASAP BERBASIS CITRA

Deteksi dini kebakaran merupakan hal yang sangat penting jika terjadi kebakaran di suatu gedung. Hal ini berhubungan erat dengan evakuasi dan keselamatan kebakaran. Pada kejadian kebakaran umumnya, suatu material yang terbakar akan menghasilkan api dan asap. Oleh karena itu, deteksi asap dapat dijadikan sebagai parameter peringatan dini kebakaran. Detektor asap berbasis pengolahan citra dewasa ini sedang berkembang dengan sangat pesat. Cakupan daerah yang lebih luas, lokasi kebakaran, laju perkembangan kebakaran serta waktu deteksi yang lebih baik membuat sistem deteksi asap berbasis pengolahan citra menjadi sebuah pilihan yang lebih baik dibandingkan dengan sistem deteksi konvensional. Akan tetapi, parameter nilai *threshold* yang merupakan basis dalam pengolahan citra tersebut masih belum mampu didefinisikan dengan tepat sehingga dapat mencapai kebutuhan keselamatan.

Temperatur awal kemunculan asap lebih besar dibandingkan dengan temperatur lingkungan. Asap dapat naik ke atas disebabkan oleh gaya apung yang dimiliki oleh asap tersebut. Ketika asap terus naik, udara sekitar akan bergerak menuju asap tersebut sehingga menyebabkan temperatur asap akan menurun dan temperatur lingkungan akan meningkat. Seiring peningkatan ketinggian pun gaya apung yang dimiliki oleh asap akan berkurang, hal ini akan berpengaruh pada *optical density* asap pada perbedaan ketinggian.

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh karakteristik thermal material terhadap karakteristik asap yang dihasilkan, baik waktu kemunculan, luasan, dan *optical density*. Nilai *optical density* yang telah diperoleh dari pengukuran akan dibandingkan dengan tingkat keabu-abuan citra, sehingga hasil korelasi yang diperoleh dapat menjadi sebuah acuan pengembangan sistem deteksi asap berbasis citra.

Kata Kunci: karakteristik thermal material, karakteristik asap, *optical density* dan korelasi dengan tingkat keabu-abuan citra.

ABSTRACT

Name : Tri Cahyo Wibowo
Major : Mechanical Engineering
Title :

MEASUREMENT OF SMOKE PLUME DENSITY ORIGINATED FROM HEATING OF CELLULOSIC MATERIALS AS A BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF A VIDEO SMOKE DETECTION SYSTEM

Early fire detection plays important role of fire building occupants because it has effects with the evacuation and fire safety. In happen of fire, fire and smoke will appear together, so that, it is possible to said that smoke detection is the principal parameter of early fire detection. In recent years, video smoke detection was rapidly developed. Wide range detection, fire location, fire growth, and better early detection make video smoke detection better than the traditional one. But then, the threshold –the main parameter of video smoke detection – hasn't exactly determined well for the safety limits.

The initial temperature of smoke plume is bigger than the ambient temperature. Smoke rises due to positive buoyant force. During the rising process, the smoke entrained by the surrounding air which has lower temperature. So that, the temperature of surrounding air increases and the temperature of smoke decreases, and the smoke buoyant force decreases too. The decreasing of it has influence to the smoke's optical density at various heights.

This research will discuss about the influence of the material's properties to the properties of produced smoke, i.e. the initial time of smoke appearance, the smoke wide, and the optical density. The value of measured optical density will compare to the gray value and the correlation between them hopefully can be a step of video smoke detection development.

Keywords : thermal properties of materials, smoke properties, optical density and the correlation to the gray value.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
1 BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4
2 BAB 2 LANDASAN TEORI	6
2.1 Material Seluloid	6
2.1.1 Kayu	6
2.1.2 Kertas	9
2.1.3 Sigaret	9
2.2 Kalor yang Dihasilkan oleh Arus Listrik	10
2.3 Kepulan Asap (<i>Smoke Plume</i>)	12
2.4 <i>Optical Density</i>	15
2.5 Pengolahan Citra	16
2.6 Deteksi asap berbasis citra	19
3 BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Sistematika penelitian	23
3.2 Material Uji dan Peralatan Penelitian	24
3.2.1 Material Uji	24
3.2.2 Peralatan Penelitian	25

3.3	Kalibrasi perangkat penelitian	29
3.3.1	Kalibrasi DIN 50055 Smoke Density Photometric System	29
3.3.2	Kalibrasi Alat Uji Kabel	30
3.4	Prosedur penelitian	31
4	BAB 4 HASIL DAN ANALISIS	36
4.1	Hubungan Karakteristik Material dengan Asap yang Dihasilkan	36
4.1.1	Hubungan Karakteristik Material dengan Kenaikan Temperatur. ..	36
4.1.2	Hubungan Karakteristik Material dengan Luasan Asap.	38
4.1.3	Hubungan Karakteristik Material dengan <i>Optical Density</i> Asap. ...	40
4.2	Korelasi <i>Optical Density</i> Asap Terukur dengan Tingkat Keabu-abuan Rata-rata (<i>Mean Gray Value</i>) Hasil Pengolahan Citra	43
4.2.1	Nilai MGV Tiap-tiap Material	43
4.2.2	Korelasi <i>Optical Density</i> dengan <i>Mean Gray Value</i>	45
5	BAB 5 PENUTUP	57
5.1	KESIMPULAN	57
5.2	SARAN	59
	DAFTAR REFERENSI	60

DAFTAR GAMBAR

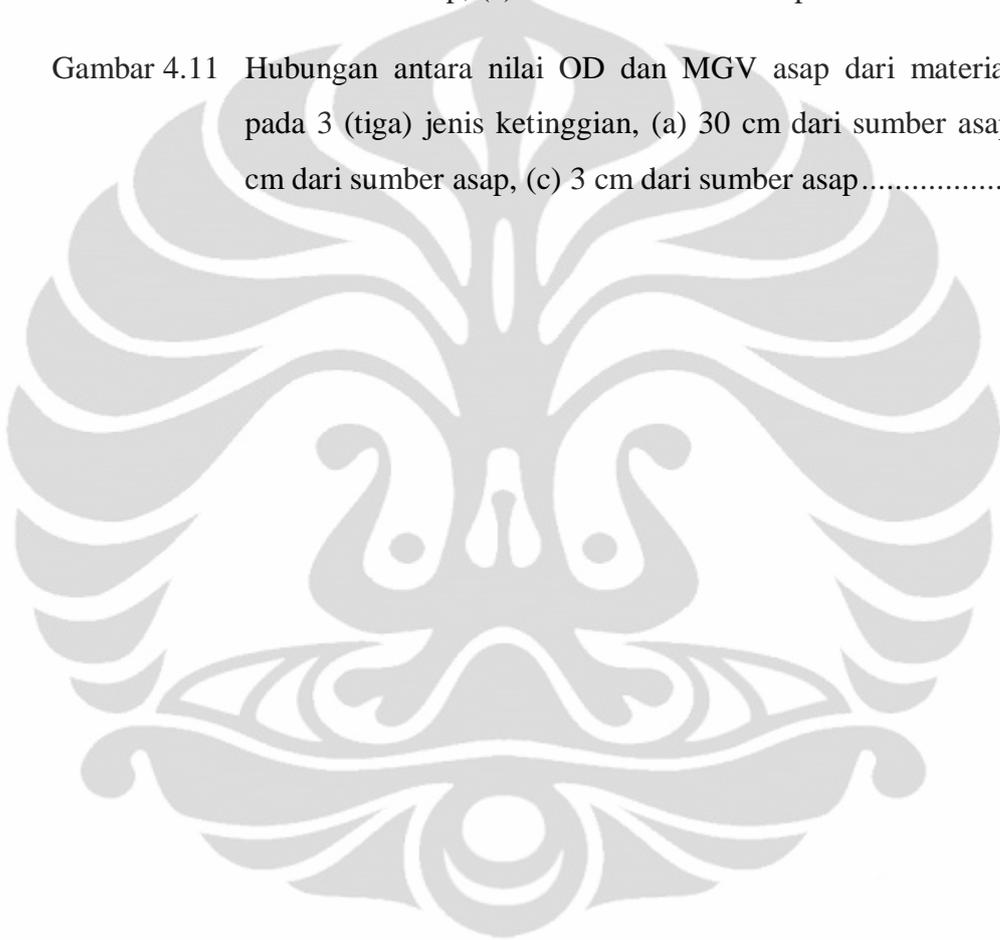
Gambar 2.1	Ikatan kimia selulosa	6
Gambar 2.2	Proses perubahan fisik dan kimia pada kayu	8
Gambar 2.3	Skema smoldering sigaret	9
Gambar 2.4	Skema <i>Bouyant Plume</i>	14
Gambar 2.5	Skema pengenalan citra	16
Gambar 2.6	Representasi citra digital dalam bentuk $f(x,y)$	17
Gambar 2.7	(a) sampling dan (b) kuantisasi.....	17
Gambar 2.8	Pengubahan citra menjadi <i>grid</i> dalam proses sampling.....	18
Gambar 2.9	Contoh hasil deteksi asap dengan GMM	20
Gambar 2.10	Hasil <i>blobbing</i> frame	20
Gambar 2.11	Proses <i>filtering and blurring blob</i> . (a) sebelum (b) sesudah.....	21
Gambar 2.12	Algoritma deteksi asap berbasis video.....	22
Gambar 3.1	Skema <i>jointing</i> kabel (a) kabel sebelum di- <i>jointing</i> dan (b) kabel sesudah di- <i>jointing</i>	25
Gambar 3.2	Setup peralatan eksperimen.....	25
Gambar 3.3	Skema Kerja IR Thermometer	26
Gambar 3.4	(a) IP Camera Vivotek IP7132 dan (b) WPC 236 IR	27
Gambar 3.5	DIN 50055 Smoke Density Photometric System	28
Gambar 3.6	Penghalang transparan untuk kalibrasi DIN 50055	29
Gambar 3.7	Grafik kalibrasi <i>optical density</i>	30

Gambar 3.8	Grafik hubungan antara arus dan voltase pada alat uji kabel.....	31
Gambar 3.9	Skema pengukuran <i>optical density</i> asap pada berbagai ketinggian	32
Gambar 3.10	Skema perbandingan D dan S pada Fluke® IR Thermometer.....	33
Gambar 3.11	Salah satu contoh pengolahan citra untuk mendapatkan nilai MGV	35
Gambar 3.12	Salah satu contoh pengolahan citra untuk mendapatkan luasan asap	35
Gambar 4.1	Grafik kenaikan temperatur terhadap waktu	37
Gambar 4.2	Grafik luas asap vs waktu	38
Gambar 4.3	Grafik OD pada berbagai ketinggian yang dihasilkan dari pemanasan material (a) kayu, (b) kertas, dan (c) sigaret	41
Gambar 4.4	Perkembangan asap.....	42
Gambar 4.5	Grafik MGV pada berbagai ketinggian yang dihasilkan dari pemanasan material (a) kayu, (b) kertas, dan (c) sigaret	45
Gambar 4.6	Perbandingan antara nilai MGV dan OD material kayu terhadap waktu pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap	47
Gambar 4.7	Perbandingan antara nilai MGV dan OD material kertas terhadap waktu pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap	49
Gambar 4.8	Perbandingan antara nilai MGV dan OD material sigaret terhadap waktu pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap	50

Gambar 4.9 Hubungan antara nilai OD dan MG_V asap dari material kayu pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap 52

Gambar 4.10 Hubungan antara nilai OD dan MG_V asap dari material kertas pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap 54

Gambar 4.11 Hubungan antara nilai OD dan MG_V asap dari material sigaret pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap..... 55



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Derajat Keabuan (<i>Gray Level</i>) Citra.....	19
Tabel 2.2	Klasifikasi Inferensi Fuzzy.....	22
Tabel 3.1	Karakteristik Termal Material Uji	24
Tabel 3.2	Dimensi Material Uji	24
Tabel 3.3	Data Kalibrasi DIN 50055 Smoke Density Photometric System..	29
Tabel 3.4	Data Hasil Pengukuran DIN 50055 Smoke Density Photometric .	30
Tabel 3.5	Salah satu contoh konversi nilai transmisi menjadi nilai <i>optical density</i>	34
Tabel 4.1.	Nilai <i>Optical Density</i> Terukur Berbagai Material	42

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Keselamatan kebakaran adalah sebuah kebutuhan mutlak pada kehidupan urban dewasa ini. Di Indonesia sendiri sistem proteksi dini kebakaran diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No: 26/PRT/M/2008 tentang Persyaratan Teknis Sistem Proteksi Kebakaran pada Bangunan Gedung dan Lingkungan[1]. Sistem proteksi dini yang tersedia harus mampu mendeteksi adanya indikasi kebakaran. Pendeteksian yang tepat adalah kunci utama dalam menentukan keberhasilan evakuasi.

Sistem deteksi konvensional yang ada saat ini biasanya menggunakan detektor panas, detektor asap, dan fotoelektrik[2, 3]. Kekurangan dari sistem-sistem detektor ini adalah membutuhkan waktu deteksi yang cukup lama. Asap yang dihasilkan pada saat kebakaran harus terakumulasi terlebih dahulu sehingga konsentrasinya meningkat, pada saat inilah sistem detektor asap konvensional baru mampu mendeteksi adanya asap yang berbahaya, padahal ketika asap sudah terdeteksi oleh sistem detektor tersebut, kondisi kebakaran yang terjadi sudah memiliki bahaya yang sangat tinggi.

Deteksi asap dengan metode konvensional pun memiliki kelemahan lain, yaitu keterbatasan spasial karena sistem deteksi konvensional sangat dipengaruhi oleh geometri ruang[4]. Salah satu contohnya adalah pada gedung dengan bentuk koridor maupun atrium. Perbedaan kondisi geometri gedung tersebut membutuhkan pengelolaan detektor asap yang berbeda. Semakin luas dan tinggi ruangan yang ada, maka akan semakin menghambat respon detektor karena konsentrasi asap yang mencapai detektor akan semakin berkurang.

Semakin pesatnya kemajuan teknologi di bidang pengolahan citra dewasa ini mampu berintegrasi dengan sistem keselamatan kebakaran dalam hal pendeteksian awal asap dan api. Sistem detektor asap berbasis pengolahan citra mampu melengkapi kekurangan-kekurangan detektor konvensional. Detektor berbasis pengolahan citra dapat memberikan informasi yang lebih banyak mengenai lokasi kemunculan, luasan, dan perkembangan asap. Algoritma utama

dalam deteksi kebakaran maupun deteksi asap adalah dengan menganalisis citra yang berhubungan dengan area, warna, dan pergerakan api atau asap.

Pendeteksian asap berbasis video telah dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya[5, 6]. Penelitian tersebut menggunakan metode Gaussian untuk menentukan daerah mana pada *frame* yang dapat dikategorikan sebagai asap dan daerah mana yang bukan asap. Namun, pada dasarnya penelitian asap berbasis citra masih membutuhkan pengembangan lebih lanjut karena parameter-parameter apa saja yang menjadi pertimbangan pendeteksian masih belum terlalu jelas.

Pengembangan sistem deteksi asap berbasis pengolahan citra tentu saja harus dibarengi dengan penelitian mengenai dinamika asap, terutama pada saat awal kemunculan asap. Hal utama yang perlu diperhatikan adalah *threshold*, yaitu bagaimana mampu menentukan *threshold* yang tepat untuk menghindari kesalahan deteksi atau bahkan asap tidak terdeteksi sama sekali. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengukuran dengan metode *in situ* mengenai dinamika asap.

Pada awal kemunculannya, asap memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi sekitar dan asap mampu bergerak ke atas disebabkan oleh gaya apung yang dimiliki oleh asap tersebut. Seiring dengan kenaikan asap, temperatur udara lingkungan akan mengalami peningkatan secara gradual sedangkan temperatur asap akan mengalami penurunan. Semakin tinggi posisi asap, maka gaya apung yang dimilikinya pun semakin lama akan menjadi nol dan akhirnya akan menjadi negatif, sehingga pada akhirnya asap tersebut akan menghasilkan bentuk yang menyerupai jamur[7].

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh karakteristik termal suatu material terhadap keadaan awal kemunculan asap juga untuk mengamati *optical density* asap pada ketinggian yang berbeda-beda, dimana hal tersebut merupakan poin-poin penting dalam pengembangan *video smoke detection*.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Penelitian ini akan membahas mengenai karakteristik asap yang dihasilkan dari pemanasan material-material selulistik, yaitu: kayu, kertas, dan tembakau

dalam skala laboratorium. Material-material tersebut merepresentasikan beberapa material yang seringkali terdapat di bangunan-bangunan.

Salah satu hal yang akan dibahas pada penelitian ini adalah perbandingan *optical density* asap yang akan diperoleh dari pengukuran secara langsung dengan menggunakan DIN 50055 Smoke Density Photometric System[®] dan yang diperoleh dari pengolahan citra dengan menggunakan perangkat lunak imageJ[®]. Hal lainnya adalah pengamatan mengenai pengaruh karakteristik termal terhadap dinamika asap yang akan dihasilkan dari berbagai material.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan data-data karakteristik asap dari material-material selulosik, yaitu: kayu, kertas, dan sigaret, yang dipanaskan serta memperoleh korelasi antara pengukuran langsung dengan pengolahan berbasis citra. Sehingga pada akhirnya diharapkan dapat digunakan sebagai upaya pengembangan detektor asap berbasis citra.

1.4 BATASAN MASALAH

1. Sumber asap yang akan diuji berasal dari material-material selulosik, yaitu: kayu, kertas, dan sigaret yang dipanaskan sehingga akan mengalami pyrolisis dan akhirnya menghasilkan asap.
2. Perantara penghantar panas yang digunakan adalah kabel NYA yang dihilangkan pembungkusnya dan dibuat *jointing* di bagian tengahnya, lalu material-material yang akan dipanaskan tersebut diletakkan pada bagian *jointing*.
3. Sumber panas yang digunakan adalah satu set peralatan *voltage regulator*[8].
4. Variasi yang diberikan pada eksperimen ini adalah ketinggian pengukuran opacitymeter yaitu pada ketinggian 3cm, 15 cm, dan 30 cm dari sumber asap.
5. Arus listrik yang mengalir melalui kabel bernilai konstan, yaitu 128,8 A (35 V).

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengkaji beberapa literatur yang mengenai pengukuran dinamika asap.
2. Melakukan eksperimen dalam skala lab sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan sebelumnya.
3. Mengolah dan menalisis data yang telah diperoleh.
4. Menarik kesimpulan dari hasil eksperimen dan pengolahan data.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Karya tulis ini disusun dari beberapa bagian untuk mempermudah pemahamannya. Bagian-bagian itu antara lain adalah:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bagian ini membahas mengenai latar belakang masalah mengapa penelitian ini dilaksanakan, berikutnya mengenai perumusan masalah berdasarkan dari latar belakang yang ada. Tujuan penelitian pun diberikan sesuai dengan rumusan masalah yang ada dan untuk menghindari pembahasan yang melebar maka akan diberikan pembatasan masalah. Hal lain yang akan dibahas pada bagian ini adalah metodologi penelitian yaitu bagaimana prosedur penelitian yang dilakukan mulai dari pengambilan data hingga pengolahan serta analisisnya dan sistematika penulisan yaitu bagaimana menuangkan hasil penelitian dalam bentuk karya tulis.

BAB 2 DASAR TEORI

Bagian ini akan mengkaji mengenai landasan teori yang digunakan dalam penelitian, antara lain mengenai karakteristik material selulosik, karakteristik asap, dan pengolahan berbasis citra.

BAB 3 METODOLOGI PENGUJIAN

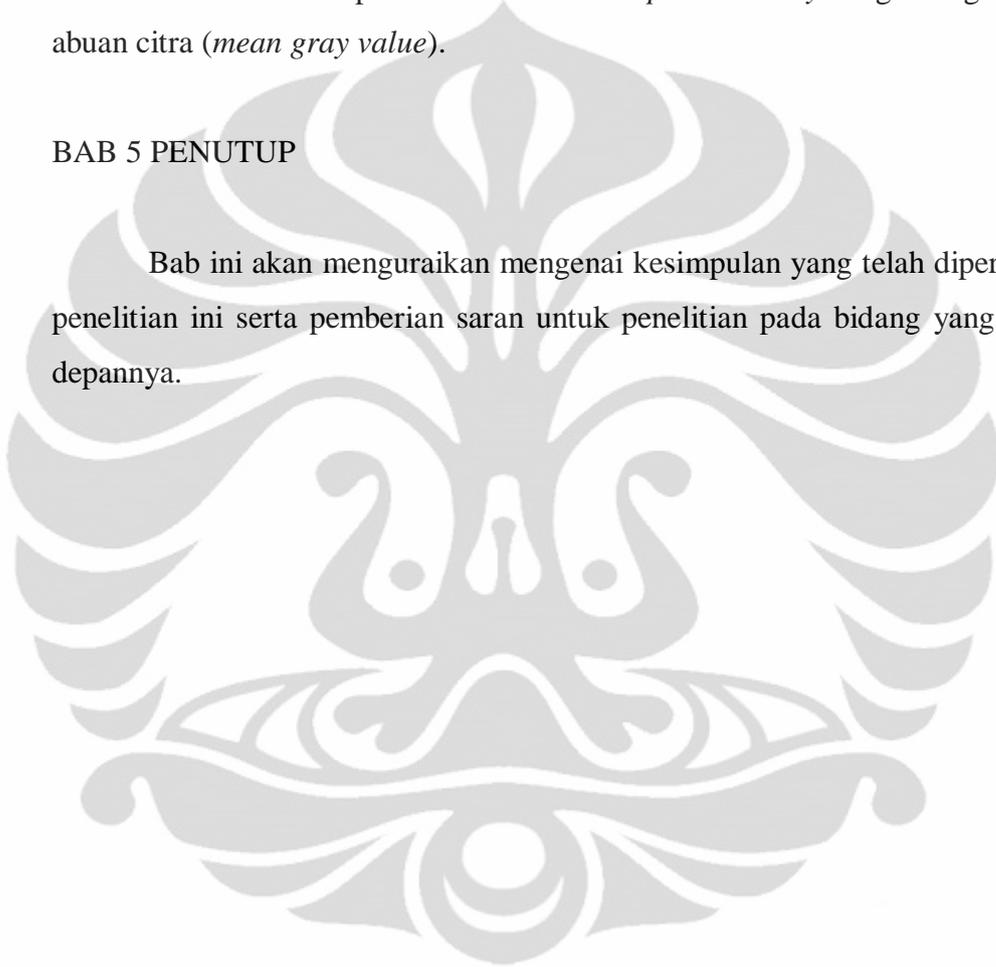
Pada bagian ini akan menjelaskan mengenai peralatan yang digunakan dalam eksperimen, langkah-langkah penelitian, dan bagaimana cara melakukan pengolahan data.

BAB 4 HASIL DAN ANALISIS

Bab ini membahas mengenai hasil dari data-data yang diperoleh selama eksperimen. Data-data tersebut akan diolah dan hasilnya akan dianalisis. Analisa yang diperoleh antara lain adalah pengaruh karakteristik thermal material terhadap fenomena dinamika asap dan korelasi antara *optical density* dengan tingkat keabuan citra (*mean gray value*).

BAB 5 PENUTUP

Bab ini akan menguraikan mengenai kesimpulan yang telah diperoleh dari penelitian ini serta pemberian saran untuk penelitian pada bidang yang sama ke depannya.



BAB 2

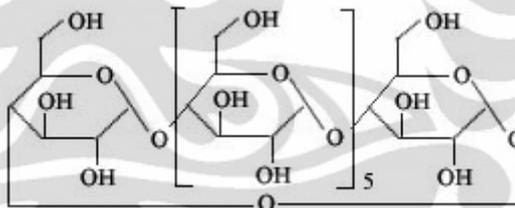
LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori dan konsep yang digunakan sebagai landasan pada penelitian ini. Penjabaran mengenai teori-teori tersebut bertujuan untuk memberikan pemahaman yang mendalam baik itu bagi penulis maupun pembaca laporan penelitian ini.

2.1 MATERIAL SELULOID

2.1.1 Kayu

Kayu merupakan material yang sangat banyak digunakan dalam sebuah bangunan, baik berupa struktur bangunan maupun furniture yang melengkapi bangunan. Bahan dasar dari kayu adalah selulosa yang merupakan sebuah polymer alami dimana monomer penyusun kayu adalah $C_6H_{10}O_5$.

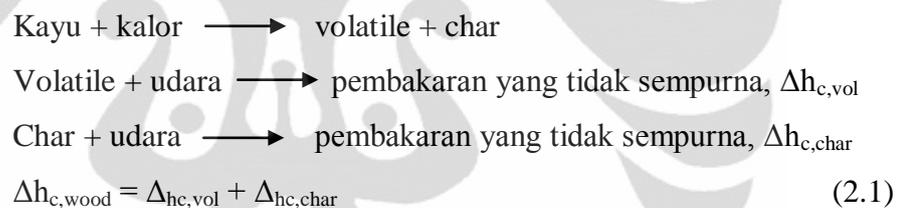


Gambar 2.1. Ikatan Kimia Selulosa[9]

Kayu merupakan material yang memiliki proses *pyrolysis* yang kompleks karena kayu merupakan material yang mampu menyerap uap air dari udara. Bahan penyusun kayu antara lain adalah 50% selulosa, 25% hemiselulosa, dan 25% lignin. Produk-produk gas yang dihasilkan pada pembakaran kayu berhubungan dengan superposisi dari masing-masing komponen penyusunnya. Pada proses pemanasan, komponen yang akan terurai terlebih dahulu adalah hemiselulosa pada suhu 475-535 K (201.85-261.85 °C), selulosa pada suhu 525-625 K (251.85-351.85 °C), dan terakhir adalah lignin pada suhu 555-775 K (281.85-501.85 °C)[9].

Proses pyrolisis yang terjadi pada kayu akan menghasilkan arang, ter, dan gas. Arang disusun oleh matriks-matriks berpori dari karbon dan juga hydrogen serta beberapa elemen lainnya. Ter adalah senyawa dengan berat molekul tinggi yang mempertahankan struktur cair di bawah suhu normal. Terakhir, produk sisa dari proses pyrolisis kayu adalah gas yang terdiri dari campuran hidrokarbon dimana akan mengembun dan membentuk aerosol indikatif, yaitu berupa asap yang berwarna putih.

Material-material yang mengandung *char*, seperti kayu akan mengalami perbedaan nilai *heat of combustion* pada kondisi aktual dan kondisi ideal. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dalam pembakaran *volatile* dan *subsequent oxidation* pada *char* tersebut, serta hasil dari pembakaran yang tidak lengkap. Contoh skemanya adalah,



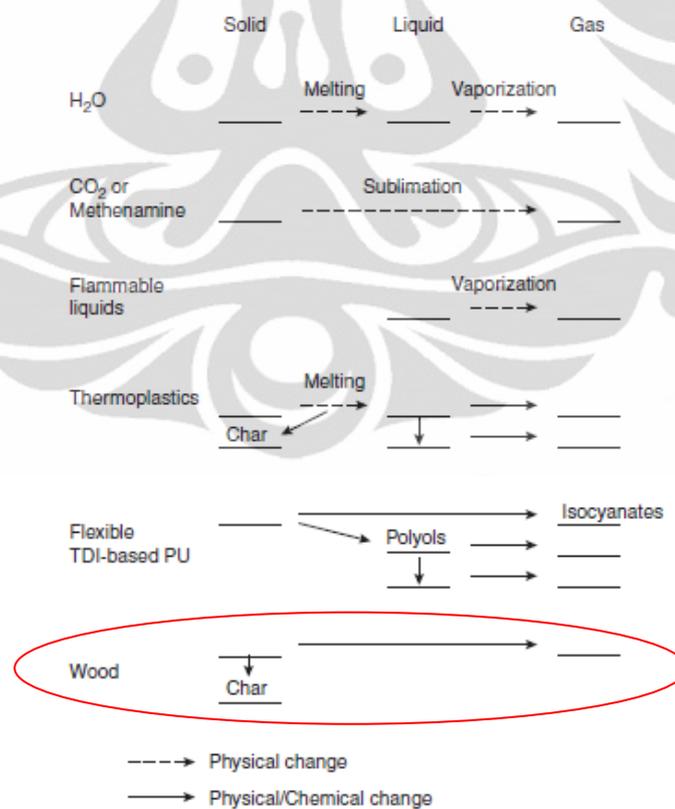
Asap yang dihasilkan oleh kayu mengandung uap air, karbon dioksida dan bahan kimia lainnya, serta aerosol partikulat.

Tahap pembakaran yang terjadi pada kayu antara lain adalah:

1. Kalor memanaskan kayu dan menguapkan uap air. Pada fase ini, uap air berperan penting dalam tahap inisiasi karena kandungan uap air yang berlimpah akan menghambat pembakaran. Oleh karena itu, pada tahap ini uap air akan dijadikan uap terlebih dahulu secara keseluruhan.
2. Kayu akan mulai hancur secara kimiawi suhu 500°F (260°C) dan pada tahap ini zat-zat *volatile* akan mengalami vaporisasi. Uap ini mengandung 50%-60% dari nilai kalor kayu. Pada suhu 1100°F (593.33°C) uap-uap tersebut akan terbakar. Zat-zat *volatile* merupakan bahan yang dapat terbakar, sehingga pada tahap ini pembakaran yang terjadi pada kayu adalah pembakaran

utama (*primary combustion*). Pembakaran utama selalu menghasilkan gas-gas yang tidak terbakar sempurna, seperti metana, metanol, asam, uap air dan karbon dioksida. Gas-gas itu disebut sebagai gas-gas sekunder yang mengandung 60% dari kalor potensial pada kayu. Pada fenomena ini, gas-gas sekunder tersebut tidak mampu terbakar di dekat kayu karena oksigen yang ada sudah digunakan pada pembakaran primer. Udara yang berjumlah sedikit tidak akan pernah cukup untuk melakukan pembakaran dan udara yang terlalu berlebih justru akan mendinginkan pembakaran yang sedang terjadi.

- Setelah gas-gas volatile menguap, maka hal yang tersisa adalah ikatan selulosa dan lignin yang pada akhirnya akan terbakar dan berubah menjadi arang yang akan terus terbakar di atas suhu 1100°F selama masih terdapat oksigen[10].



Gambar 2.2. Proses Perubahan Fisik dan Kimia pada Kayu[9].

2.1.2 Kertas

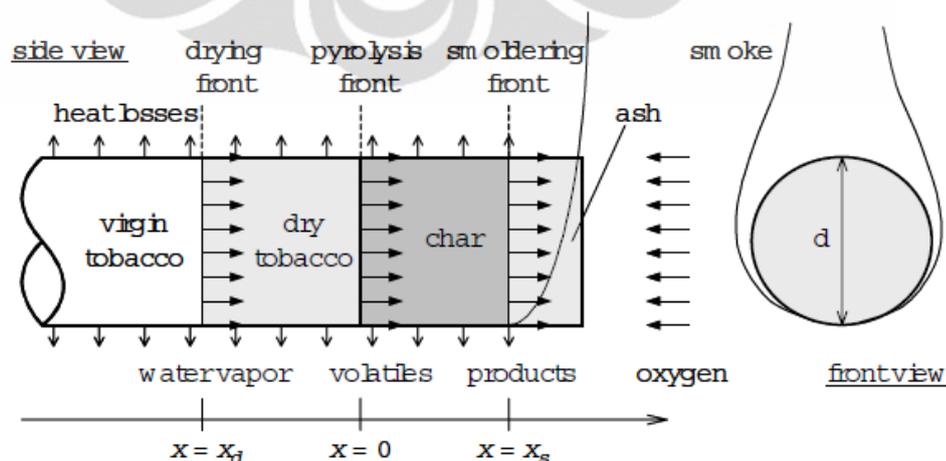
Kertas merupakan material yang memiliki karakteristik yang serupa dengan kayu karena berasal dari bahan yang sama. Hasil dari pirolisis kertas adalah arang, ter, dan gas. Hal yang membedakan antara kayu dengan kertas secara signifikan adalah kandungan uap airnya. 20% bagian dari kayu adalah uap air, sedangkan kertas hanya memiliki kadar uap air 5%. Oleh karena itu, kertas merupakan material yang sangat mudah terbakar[23].

Faktor lain yang membuat kertas memiliki tingkat kemampuan bakar yang lebih tinggi dari kayu adalah rasio antara permukaan dan massa kertas yang pada akhirnya akan mempermudah oksigen untuk bereaksi dengan kertas daripada dengan kayu.

2.1.3 Sigaret

Salah satu pemicu kebakaran yang cukup berbahaya adalah sigaret. Penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Ohlemiller[11], bahwa sebagian besar kebakaran yang mematikan yang terjadi di Amerika Serikat adalah disebabkan oleh terbakarnya perabotan rumah tangga yang dipicu oleh nyala api sigaret.

Costa[12] membagi sigaret yang terbakar menjadi 4 (empat) bagian, yaitu: tembakau yang tidak terbakar, tembakau kering, arang (*char*), dan abu.



Gambar 2.3. Skema smoldering sigaret[12].

Bagian *drying front* ditentukan dari temperatur penguapan/pendidihan (373 K) yang terletak di $x = x_d$. Lalu, bagian *pyrolysis front* ditentukan dari temperatur pirolisis, yang terletak pada $x = 0$, dan berikutnya *smoldering front* ditentukan oleh temperatur *smoldering* yang terletak di $x = x_s$.

Hasil pirolisis dari sigaret yang mengandung tembakau sama seperti material selulostik lainnya dimana akan menghasilkan arang (*char*) yang reaktif melalui tahap kimiawi yang kompleks. Proses oksidasi arang tersebut melibatkan absorpsi oksigen secara kimiawi pada bagian arang yang reaktif dan memiliki temperatur awal yang rendah, sehingga akan menghasilkan proses eksotermik yang sangat tinggi.

Pada penelitian Kanury dan Holve [13], diasumsikan pirolisis terjadi pada temperatur yang tetap, $T = T_p$, melalui sebuah reaksi sederhana:



dimana, Q_p adalah kalor pirolisis.

Laju pembakaran (*burn rate*) dari material selulostik, seperti sigaret, sangat dipengaruhi oleh kadar uap air yang dikandung oleh material tersebut. Semakin tinggi kadar uap air yang dimiliki oleh sigaret, maka laju pembakarannya akan menurun, begitu pula sebaliknya.

2.2 KALOR YANG DIHASILKAN OLEH ARUS LISTRIK

Energi listrik yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir pada sebuah konduktor dapat berubah menjadi kalor atau biasa disebut dengan pemanasan Joule (*Joule heating*), tentu saja dengan mengalami pengurangan-pengurangan yang disebabkan oleh hambatan yang dimiliki oleh material tersebut.

$$Q = I^2.R \quad (2.3)$$

dimana:

Q = Kalor yang dihasilkan (J)

I = Arus yang mengalir (A)

R = Hambatan material (Ω)

Kalor yang dihasilkan dari arus listrik tersebut, pada penelitian ini, digunakan sebagai pengatur tingkat suhu yang akan diberikan pada material uji.

Kalor yang mengalir pada kabel dapat diasumsikan sebagai berikut[14]:

1. Kalor yang mengalir dari kabel ke material terjadi secara radial, artinya adalah bahwa terjadi kontak yang sempurna antara material dan kabel tersebut.
2. Komposisi material tersebut homogen.
3. Karakteristik termal dari tiap-tiap material – konduktivitas termal, kalor spesifik, dan kerapatan – diasumsikan tidak bergantung terhadap perubahan suhu, walaupun pada kenyataannya karakteristik termal material sangat bergantung terhadap suhu, namun hal tersebut akan sangat sulit untuk diamati.

Berdasarkan asumsi-asumsi di atas, maka persamaan untuk temperatur material $T(r,t)$ adalah:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} = k \frac{\partial T}{\partial r} \quad (2.4)$$

dimana:

ρ = densitas material (kg/m^3)

c = kalor spesifik (J/kg.K)

k = konduktivitas thermal (W/m.K)

dimana densitas, kalor spesifik, dan konduktivitas termal diasumsikan konstan. Kondisi batasan eksterior, $r = R$, dapat dinyatakan:

$$k \frac{\partial T}{\partial r}(R, t) = \dot{q}'' \quad (2.5)$$

dimana \dot{q}'' adalah fluks kalor yang diasumsikan simetris secara aksial terhadap permukaan dalam kabel.

Jadi, dapat dikatakan bahwa konduktivitas termal akan sangat mempengaruhi peningkatan temperatur yang menggunakan arus listrik sebagai sumber kalornya.

2.3 KEPULAN ASAP (*SMOKE PLUME*)

Asap adalah campuran dari gas-gas, uap, dan partikulat tersuspensi, atau aerosol dimana partikel-partikel liquid dan solid selalu dalam keadaan yang didispersikan[15]. Asap merupakan fluida, sehingga berbagai pergerakan asap akan selalu mengikuti hukum mekanika fluida.

Asap secara alamiah akan selalu bergerak ke atas, hal ini disebabkan oleh gaya apung yang dimiliki oleh asap tersebut. Karakteristik mendasar dari asap adalah distribusi ukuran dari partikel-partikelnya. Redupnya cahaya lingkungan yang diakibatkan oleh asap, visibilitas asap, dan kemampuan asap untuk terdeteksi atau tidak sangat bergantung dari konsentrasi dan distribusi partikel dari asap tersebut.

Pada kondisi ketika terdapat perbedaan densitas antara satu massa fluida dengan massa fluida lainnya, yang disebabkan oleh perubahan temperatur, lalu disebabkan adanya gaya apung, maka fluida yang memiliki densitas lebih rendah akan bergerak ke atas. Gaya apung sendiri memiliki definisi sebagai perindahan fluida secara konvektif di atas sebuah sumber panas.

Temperatur awal yang dimiliki oleh asap bernilai lebih besar dibandingkan dengan nilai temperatur udara di lingkungan. Bergeraknya asap secara vertikal disebabkan oleh gaya apung yang dimiliki oleh asap itu sendiri. Pada saat asap semakin bergerak ke atas, maka seiring juga dengan penurunan temperaturnya. Penurunan temperatur tersebut disebabkan oleh udara lingkungan yang bergerak mendekati asap, sehingga temperatur asap akan menurun sedangkan temperatur lingkungan akan meningkat, begitu seterusnya hingga tercapai titik keseimbangan.

Gaya apung yang dimiliki asap pun semakin lama akan mendekati nol dan bahkan akan menjadi negatif nilainya. Hal inilah yang menyebabkan asap akan berhenti bergerak ke atas, dan justru kembali ke bawah karena gaya apung yang dialaminya sudah bernilai negatif. Dengan siklus yang seperti itu secara terus menerus maka akan menyebabkan asap berbentuk seperti jamur. Sementara itu, bentuk dari *buoyant plume* sendiri sangat dipengaruhi dari interaksi yang terjadi antara *plume* dengan fluida

sekitar yang ada di lingkungan. Pergerakan gaya apung yang dimiliki oleh asap dihambat oleh gaya gesek, yaitu viskositas antara asap dengan udara sekitar. Nilai antara kedua gaya ini ditampilkan sebagai bilangan Grashof, yaitu perbandingan antara gaya naik dengan viskositas:

$$Gr = \frac{gl^3(\rho_\infty - \rho)}{\rho v^2} = \frac{gl^3 \beta \Delta T}{v^2} \quad (2.6)$$

dimana:

g = percepatan gravitasi (9.81 m/s^2)

l = panjang lintasan (m)

ρ_∞ = densitas fluida lingkungan (kg/m^3)

ρ = densitas asap (kg/m^3)

v = kecepatan linear *flowrate* (m/s)

β = modulus pendinginan

T = temperatur (K)

Struktur dari *smoke plume* dapat diperoleh secara teoritis dari konservasi massa, momentum, dan energi[7]. Akan tetapi, analisis yang menyeluruh sangat tidak mungkin untuk dilakukan dan perlu dilakukan penyederhanaan dengan beberapa asumsi. Solusi yang mendetail tentang temperatur (ΔT), *density deficit* (ρ), dan kecepatan naik (u) dapat dikembangkan dengan distribusi Gaussian[16], dimana *plume* merupakan fungsi dari ketinggian.

Pada konservasi momentum, dapat ditulis persamaan berikut dengan viskositas *plume* diabaikan dan perubahan temperaturnya sangat kecil:

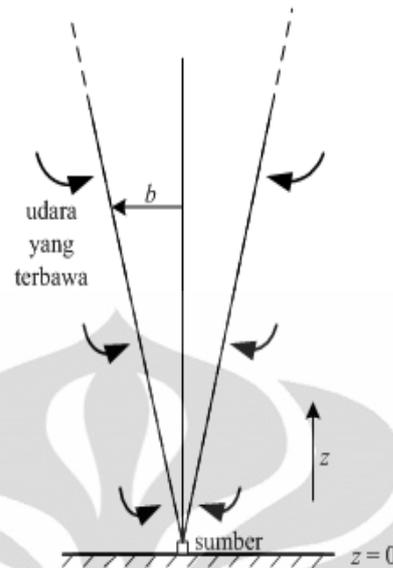
$$\frac{d}{dz}(\rho_o u_o^2 b^2) \approx g(\rho_o - \rho_\infty) b^2 \quad (2.7)$$

dimana:

ρ_o = *plume density* (kg/m^3)

u_o = kecepatan *plume* pada ketinggian z (m/s).

ρ_∞ = densitas fluida sekitar (kg/m^3).



Gambar 2.4. Skema Bouyant Plume[7].

Begitu pula untuk persamaan konservasi massa, dapat ditulis:

$$\frac{d}{dz}(\rho_o u_o b^2) \approx \rho v b \approx \rho u_o b \quad (2.8)$$

dimana:

z = ketinggian (m)

b = diameter asap (m)

ρ_o = plume density (kg/m³)

ρ_∞ = densitas fluida sekitar (kg/m³)

v = kecepatan masuk udara (m/s)

u_o = kecepatan vertikal plume (m/s)

Kenaikan aliran massa pada ketinggian disebabkan oleh masuknya udara lingkungan kepada batas dari *plume* tersebut. Diasumsikan kecepatan masuknya udara (v) proporsional dengan kecepatan vertikal dari plume (u_o). Lalu, untuk konservasi energi, dapat direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$c_p \rho_o u_o b^2 \Delta T \approx \dot{Q}_{conv} \quad (2.9)$$

dimana ΔT adalah selisih temperatur ambient pada ketinggian z dan Q_{conv} adalah *convective heat* dari sumber.

Pada dasarnya, pergerakan asap disebabkan oleh beberapa hal, antara lain:

1. Gaya apung yang dihasilkan dari pemanasan material itu sendiri.
2. Gaya apung yang disebabkan oleh perbedaan temperatur antara temperatur awal asap dengan temperatur ambient.
3. Efek dari angin atau pergerakan udara.

2.4 OPTICAL DENSITY

Optical density dapat dikatakan sebagai tingkat kecerahan asap. *Optical density* dapat ditentukan dengan melewatkan asap pada sebuah alat opasitimeter. Pada alat tersebut terdapat bagian transmitter yang mengirimkan cahaya dan ada bagian yang menerima cahaya (*receiver*) sehingga akan terbentuk sebuah *light beam*. *Optical density* asap akan terukur ketika asap melewati beam tersebut. Pada saat tidak ada asap yang menghalangi maka cahaya yang ditransmiskan akan sama dengan cahaya yang diterima, sehingga dapat dikatakan sebagai intensitas awalnya (I_0) dan seiring dengan konsentrasi asap yang melewati beam tersebut, maka intensitas akan berkurang dan nilai intensitasnya menjadi I .

Hubungan antara I_0 dan I terdapat pada hukum Bouguer:

$$I = I_0 \exp(-KL) \quad (2.10)$$

dimana,

L = jarak atau ketebalan asap (m)

K = koefisien absorpsi

Sedangkan, untuk nilai *optical density* dapat diperoleh dari persamaan:

$$OD = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right) = KL \quad (2.8)$$

Dari persamaan di atas, dapat dilihat bahwa nilai *optical density* sangat bergantung dari ketebalan asap. Di sisi lain, *light transmission* dan opasitas asap dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$T = \left(\frac{I}{I_0} \right) = \left(1 - \frac{N}{100} \right) \quad (2.11)$$

dimana,

T = *light transmission* (%)

N = opasitas (%)

Hubungan antara *light transmission* dengan nilai *optical density* adalah:

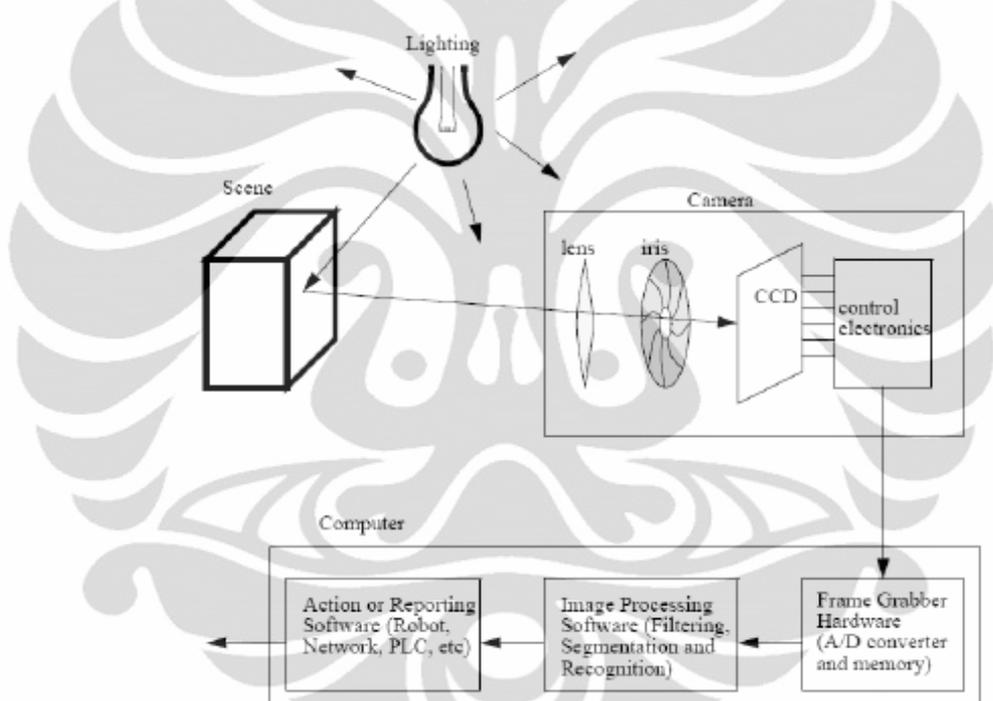
$$T = \exp(-OD) \quad (2.12)$$

Maka,

$$OD = \log_{10} \left(\frac{1}{T} \right) \quad (2.13)$$

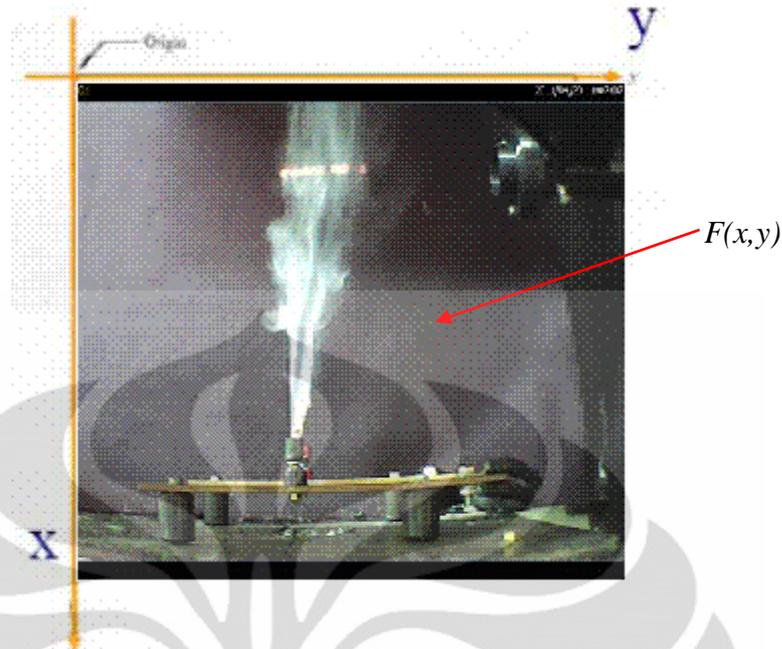
2.5 PENGOLAHAN CITRA

Sebuah gambar yang merupakan sebuah data analog akan dikenali oleh perangkat pengolah citra dalam bentuk digital, sehingga dibutuhkan *A/D converter*.



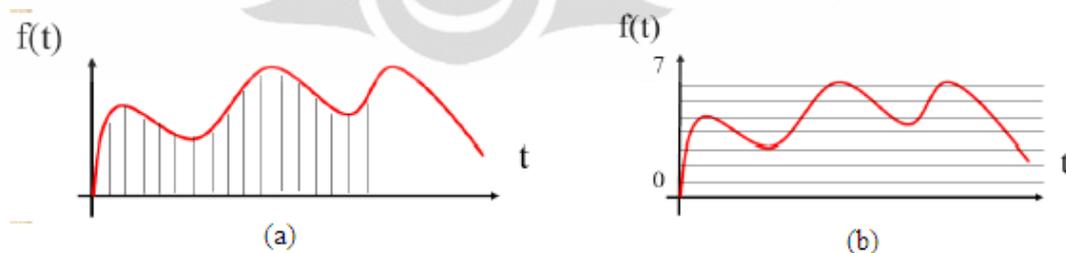
Gambar 2.5. Skema pengenalan citra[17].

Citra digital tersusun dari beberapa *grid* atau kisi-kisi. Setiap gambar memiliki piksel, yaitu kotak-kotak (*tile*) yang tersusun dan membentuk koordinat (x,y). Setiap piksel dari gambar tersebut memiliki nilai yang menunjukkan tingkat keabuan pada piksel tersebut.



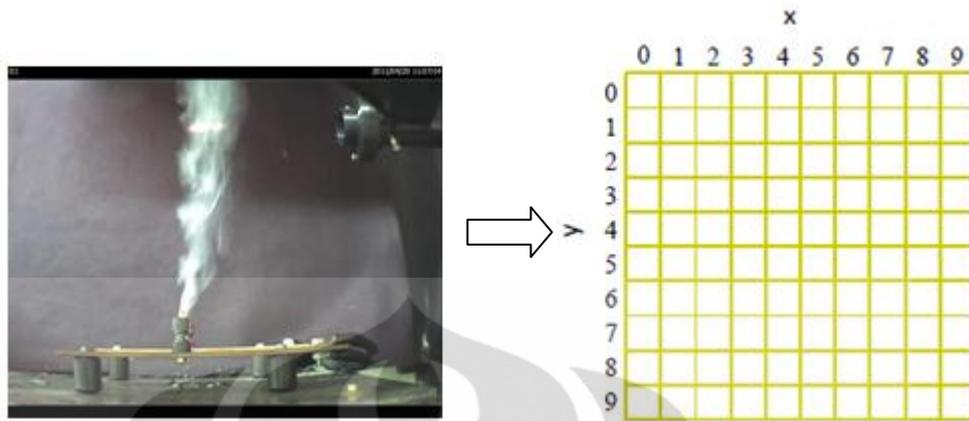
Gambar 2.6. Representasi citra digital dalam bentuk $f(x,y)$.

Fungsi $f(x,y)$ merepresentasikan koordinat area dan *brightness level* dari tiap gambar [citra digital]. Dalam konversi objek dari format analog menjadi format digital dibutuhkan dua proses, yaitu *sampling* dan kuantisasi. *Sampling* adalah sebuah proses digitalisasi objek dalam koordinat spasial, sedangkan kuantisasi adalah proses digitalisasi nilai intensitas (amplitudo) dari sinyal objek tersebut. Pada fungsi $f(x,y)$, *sampling* merupakan jarak nilai dalam domain sinyal, sedangkan kuantisasi merupakan jarak nilai dalam range sinyal.



Gambar 2.7. (a) *sampling* dan (b) kuantisasi[18].

Proses *sampling* mengubah citra menjadi koordinat *grid*. Hasil dari proses ini akan memberikan ukuran dari citra yang diolah.



Gambar 2.8. Pengubahan citra menjadi *grid* dalam proses sampling.

Citra yang telah dilakukan proses digitalisasi akan memiliki resolusi. Resolusi sebuah citra menunjukkan tingkat kerincian suatu citra. Resolusi dapat dinyatakan dalam dua bentuk, yaitu dpi (*dot per inch*), dimana semakin besar dpi maka resolusi gambar semakin tinggi, atau dalam ukuran piksel dengan satuan panjang.

Kuantisasi merupakan proses digitalisasi intensitas sinyal objek pada koordinat piksel yang disampel atau dapat dikatakan pemberian nilai piksel tersebut. Salah satu format penyimpanan citra adalah dalam bentuk *bitmap*. Hasil pemetaannya dikodekan dalam bentuk bit (*binary digit*).

Pengolahan citra tidak dapat dilepaskan dari pencahayaan. Terdapat 2 (dua) faktor yang mempengaruhi pencahayaan, yaitu iluminasi dan refleksi (pemantulan). Iluminasi adalah jumlah cahaya yang ada dan diwakili oleh persamaan fungsi $i(x,y)$, sedangkan refleksi adalah jumlah cahaya yang dipantulkan, diwakili oleh fungsi $r(x,y)$. Kedua hal tersebut akan membentuk persamaan[18]:

$$f(x,y) = i(x,y)*r(x,y) \quad (2.14)$$

dimana,

$$0 < i(x,y) < \infty$$

$$0 < r(x,y) < 1$$

Setiap citra memiliki derajat keabu-abuan (*gray level*). *Gray level* dapat dikatakan sebagai representasi dari kode warna. Kisaran warna

ditentukan oleh bit yang dipakai dan akan menunjukkan *gray level resolution*.

Tabel 2.1. Derajat Keabuan (*Gray Level*) Citra[18].

Bit	Jumlah warna	Range
1 bit	2 warna	[0,1]
4 bit	16 warna	[0,15]
8 bit	256 warna	[0,255]
24 bit	16.777.216 (<i>true color</i>)	
	Kanal Merah – <i>Red</i>	[0,255]
	Kanal Hijau – <i>Green</i>	[0,255]
	Kanal Biru – <i>Blue</i>	[0,255]

Gray level pada satu titik (piksel) mengartikan intensitas citra monokrom fungsi f pada koordinat (x,y) .

2.6 DETEKSI ASAP BERBASIS CITRA

Detektor asap berbasis citra merupakan sebuah pengembangan yang baik dalam bidang keselamatan kebakaran. Deteksi asap berbasis citra memiliki banyak kelebihan jika dibandingkan dengan detektor konvensional, antara lain: peringatan dini kebakaran yang lebih cepat dan tepat, cakupan wilayah yang sangat luas, harga instalasi yang lebih murah dan mampu menembus daerah yang terhalang oleh kaca.

Algoritma yang digunakan dewasa ini pada deteksi kebakaran (api dan/atau asap) adalah analisa warna dan pergerakan. Penelitian yang dilakukan Suwarno[5], segmentasi gerakan dianalisa dengan menggunakan *Gaussian Mixture Model*. Nilai piksel yang tidak sesuai dengan piksel *Gaussian* akan disederhanakan menjadi sebuah grup yaitu *moving blobs*.

Hal dasar dalam deteksi asap berbasis citra adalah segmentasi antara objek bergerak (*foreground*) dengan objek yang tetap (*background*). Pada dasarnya, iluminasi (jumlah intensitas cahaya) sangat berpengaruh dalam proses segmentasi. Metode GMM yang digunakan pada penelitian tersebut

hanya cocok untuk diimplementasikan pada daerah tertutup yang tidak memiliki perubahan intensitas cahaya yang terlalu besar.



Gambar 2.9. Contoh hasil deteksi asap dengan GMM.

Pada dasarnya, pengolahan citra yang dilakukan dengan menggunakan metode GMM ini akan mengubah terlebih dahulu citra RGB 24 bit [0,255] menjadi *grayscale* 8 bit [0,255] dan hasil deteksinya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9. Berikutnya, akan disederhanakan menjadi 1 bit [0,1] yang disebut dengan *blob*.

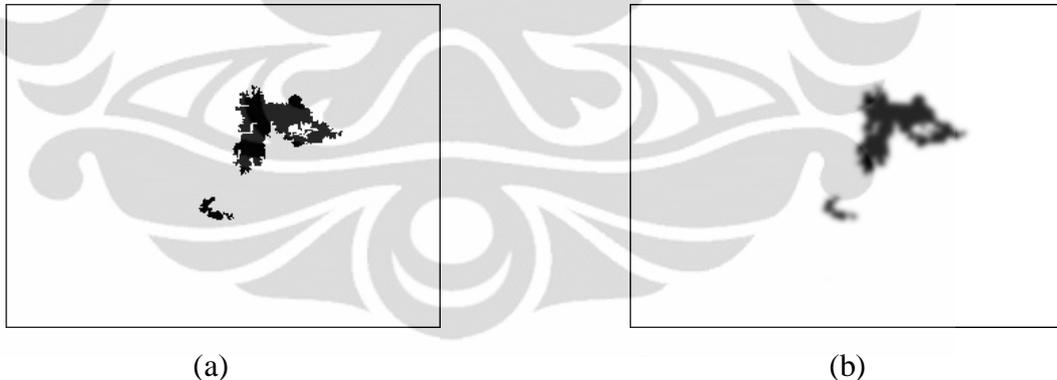


Gambar 2.10. Hasil *blobbing* frame.

Algoritma dalam pendeteksian asap terdiri dari beberapa langkah antara lain: (1) proses separasi frame video menjadi frame RGB, (2) konversi frame RGB menjadi frame *grayscale*, (3) separasi objek bergerak (*foreground*) dari *background*, (4) penyesuaian frame dengan kondisi pencahayaan, (5) *filtering* dan *blurring* objek yang bergerak.

Proses separasi dari video menjadi frame RGB dan berikutnya menjadi frame *grayscale* menggunakan fungsi yang telah tersedia dalam *OpenCV library*. Ekstraksi objek menggunakan *Gaussian Mixture Model*. Dalam GMM terdapat faktor K (*Gaussian distribution*), yang merepresentasikan tipe piksel seperti apa yang akan diekstraksi. Nilai K memiliki range 3-5, semakin besar nilai K maka proses ekstraksi akan berjalan lebih lama namun akan lebih sempurna. Tipe yang diidentifikasi adalah *background* dan *foreground*.

Pada tahap awal *blobbing* terdapat *salt and pepper noise*, oleh karena itu digunakan metode *filtering and blurring* untuk membuat gambar menjadi lebih halus. Fungsi *filtering and blurring* yang digunakan telah tersedia di *OpenCV library*.



Gambar 2.11. Proses *filtering and blurring blob*. (a) sebelum (b) sesudah.



Gambar 2.12. Algoritma deteksi asap berbasis video[6].

Inferensi Fuzzy merupakan sebuah tahap klasifikasi asap (frame asap) seperti apa yang berbahaya.

Tabel. 2.2. Klasifikasi Inferensi Fuzzy[6]

Ukuran	Kecepatan	Arah	Intensitas	Tipe
Small	Still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	Low	Smoke/ Other
Small	Not still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	High	Smoke
Medium	Still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	Low	Smoke/ Other
Medium	Not still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	High	Smoke
Large	Still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	Low	Smoke- dangerous
Large	Not Still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	High	Smoke- dangerous

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian harus ditentukan sebelum memulai penelitian. Hal ini bertujuan untuk memperoleh data hasil penelitian yang benar dan valid. Oleh karena itu, dalam bab ini akan dibahas 4 (empat) hal utama, antara lain adalah: sistematika penelitian, material uji dan peralatan penelitian, prosedur penelitian, dan pengolahan data.

3.1 SISTEMATIKA PENELITIAN

Penelitian ini mengukur dinamika asap dengan metode *in situ* dalam skala laboratorium. Sistematika penelitian yang dilakukan adalah:

1. Material uji yang digunakan adalah material selulostik, antara lain, kayu, kertas, dan sigaret. Material-material tersebut akan dipanaskan pada sebuah kabel jenis NYA 2.5 mm² yang dibuatkan *jointing* 0.0 pada bagian tengah kabel, dimana *jointing* itu merupakan tempat material uji diletakkan. Peletakan material uji pada titik *jointing* tersebut bertujuan untuk mendapatkan sumber asap yang sama sehingga analisis dapat dilakukan dengan lebih mudah.
2. Material yang diuji pada penelitian ini adalah material selulostik, yaitu: kayu, kertas, dan sigaret yang merupakan representasi dari material-material yang banyak terdapat dalam kehidupan sehari-hari yang memiliki potensi menjadi sumber kebakaran.
3. Waktu pengambilan data pada eksperimen ini dibuat sama yaitu 90 detik. Arus yang diberikan pun diatur konstan.
4. Variabel yang diberikan adalah perbedaan ketinggian peletakan opasitimeter DIN 50055 terhadap sumber asap.

Output dari hasil penelitian ini berupa temperatur, opasitas asap terukur, dan hasil rekaman video. Berikutnya, data-data ini akan diolah lebih lanjut sesuai dengan tujuan utama penelitian ini.

3.2 MATERIAL UJI DAN PERALATAN PENELITIAN

3.2.1 Material Uji

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya bahwa material-material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material-material selulostik, antara lain: kayu, kertas, dan sigaret.

Karakteristik material tersebut adalah seperti dijelaskan dalam table berikut ini:

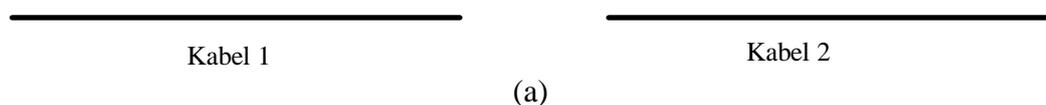
Tabel 3.1. Karakteristik Termal Material Uji [16].

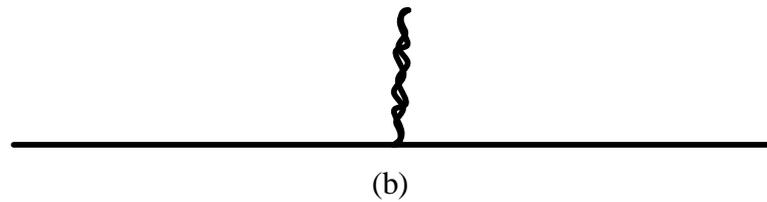
Material	k	ρ	c_p	$\alpha (k/(\rho c_p))$
Tembaga	398	8931	0.384	0.1157
Kayu	0.13 ^b	650 ^b	2.5 ^b	0.677x10 ⁻⁷
Kertas	0.05 ^b	240 ^b	1.336 ^b	1.25x10 ⁻⁷
Sigaret	0.05 ^a	320 ^a	1.1 ^a	1.42x10 ⁻⁷

Tabel 3.2. Dimensi Material Uji.

Material Uji	Dimensi (cm)
Kayu	5 x 5
Kertas	5 x 5
Sigaret	5, ϕ 0.5

Kabel yang digunakan untuk memanaskan material-material tersebut adalah kabel NYA 2.5 mm² dengan jenis konduktor *annealed plain copper solid* dengan standar SLPN 41-1. Kabel tersebut merupakan 2 (bagian) kabel yang memiliki panjang masing-masing 15 cm. Lalu, setiap kabel diambil masing 4 cm untuk dibuat *jointing* 0.0 pada pertemuannya.

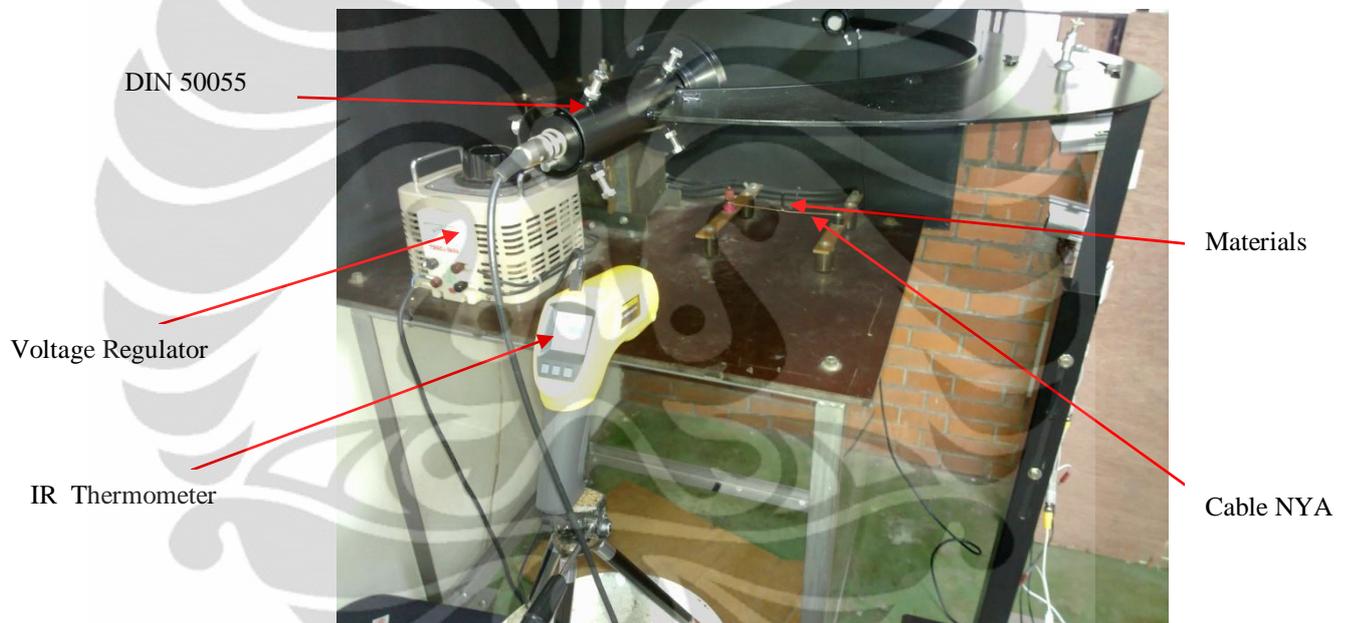




Gambar 3.1. Skema *jointing* kabel (a) kabel sebelum di-*jointing* dan (b) kabel sesudah di-*jointing*.

3.2.2 Peralatan Penelitian

Berikut adalah perlengkapan eksperimen pada penelitian ini.

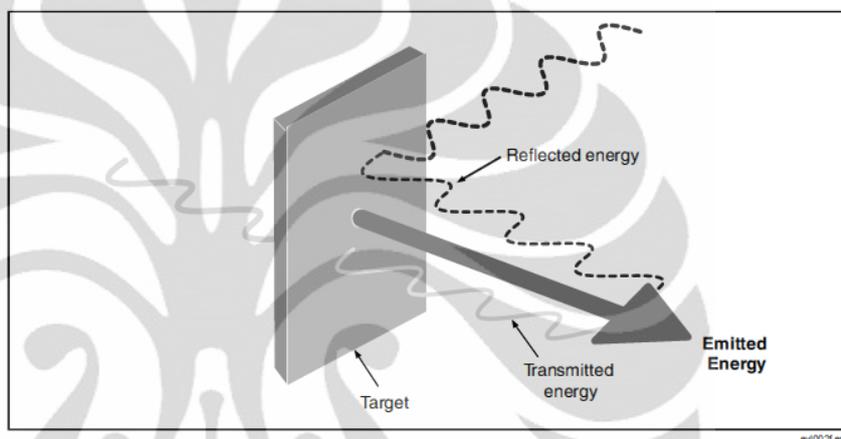


Gambar 3.2. Setup peralatan eksperimen.

Berikut adalah peralatan yang digunakan dalam eksperimen ini:

1. Alat uji kabel yang digunakan pada penelitian Adrianus[8], yaitu sebuah alat yang terdiri dari trafo *step-down*, voltage regulator, dan konduktor tempat mengaitkan kabel. Pada alat ini.
2. FLUKE[®] Infrared Thermometer 568 Series[19], adalah sebuah thermometer yang menggunakan sinar inframerah untuk mengukur temperatur permukaan. Alat ini dilengkapi dengan

perangkat lunak untuk data akuisisi, sehingga data yang diperoleh mudah untuk disimpan dan diolah kemudian. Peralatan optik dari termometer tersebut dapat merasakan energi yang dipancarkan, dipantulkan, dan yang ditransmisikan. Perangkat elektronik pada alat tersebut mampu menerjemahkan sinyal yang diterima menjadi besaran temperatur yang terbaca pada LCD thermometer.



Gambar 3.3. Skema Kerja IR Thermometer[19].

3. Kabel NYA 2.5 mm² dan material uji.
4. Kamera CCTV (*Closed Circuit Television*). Kamera CCTV yang digunakan ada 2 (dua) buah dan 2 (dua) jenis. Kamera pertama adalah kamera CCTV jenis WPC 236 IR produksi TelView[®] yang memiliki frame rate 8 fps. Hasil rekaman dari kamera ini digunakan untuk menghitung luas asap. Kamera berikutnya adalah adalah jenis IP Camera Vivotek IP7132 produksi Vivotek[®]. Kamera Vivotek[®] ini memiliki frame rate hingga 30 fps, sehingga dapat menghasilkan video yang lebih baik. Kamera ini digunakan untuk mendapatkan data *mean grey value* dari asap.



Gambar 3.4. (a) IP Camera Vivotek IP7132 dan (b) WPC 236 IR.

5. DIN 50055 Smoke Density Photometric System merupakan alat untuk mengukur opasitas asap yang diproduksi oleh FTT Inc. (Fire Test Technology)[20]. Alat ini memiliki 3 (tiga) komponen utama, antara lain: *light source*, *light measuring*, dan *system control unit*. *Light source*-nya adalah sebuah lampu tungsten filament yang diberikan gas halogen di dalamnya. Komponen *light measuring* terdiri dari, *achromatic sytem lens*, *silicon photo-electric cell*, dan *high gain low noise amplifier*. Sinar cahaya yang dihasilkan dari *light source* ini memiliki diameter 25 cm. Sinyal yang diterima oleh *light-measuring device* berikutnya akan dikirimkan ke *control unit*, dimana akan tampil dalam bentuk persentase. Sistem ini memiliki respon yang linear terhadap cahaya yang ditransmisikan dengan tingkat akurasi $\pm 1.5\%$ dari pembacaan maksimum. *Control Unit* memiliki 2 (dua) pilihan yaitu *calibrate* dan *measure*. Untuk kalibrasi digunakan pilihan *calibrate*, dimana LCD akan menampilkan nilai voltase, pada keadaan normal nilai maksimum yang dapat ditampilkan adalah 150, yang artinya voltase yang terjadi adalah 1,5 V. Akan tetapi, jika ingin melakukan pengukuran maka modenya harus diubah ke *measure*. Pada kondisi maksimum, nilai yang akan ditampilkan

adalah 100, artinya tingkat kejelasan udara yang dilalui oleh *light beam* itu maksimum, dimana tidak ada penghalang sama sekali. Control Unit juga mengatur redaman penguat sehingga waktu respon yang dibutuhkan untuk mencapai akurasi 95% (T95) sesuai dengan spesifikasi yang diberikan dalam standar. Output analog pada unit kontrol 0-1V = transmisi 100% tersedia untuk diambil ke data akuisisi unit, metode ini berbasiskan hukum *Bouger* dimana untuk memperoleh nilai *optical density* dapat diperoleh dengan mengetahui opasitas asap tersebut. Hasil pengukuran dari alat ini dapat dikirimkan ke perangkat computer dengan menggunakan *data logger* Digital Multimeter APPA-109N, produk dari APPA Technology Corp.



Gambar 3.5. DIN 50055 Smoke Density Photometric System[20].

6. Clamp Amperemeter, digunakan untuk mengukur arus yang mengalir melalui kabel.

3.3 KALIBRASI PERANGKAT PENELITIAN

3.3.1 Kalibrasi DIN 50055 Smoke Density Photometric System

Dibutuhkan kalibrasi pada alat ukur opasitas agar hasil yang diperoleh benar dan valid. FTT Inc. (Fire Testing Technology) melampirkan data kalibrasi DIN 50055 Smoke Density Photometric System yang ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 3.3. Data Kalibrasi DIN 50055 Smoke Density Photometric System[20].

Transmisi (%)	Optical Density (m^{-1})
79	0.1
50	0.3
32	0.5
16	0.8

Hubungan antara transmisi dan optical density adalah sesuai dengan hukum Bouger sesuai persamaan (2.8). Lalu, setelah dilakukan pengukuran langsung, maka diperoleh nilai sebagai berikut. Hasil pengukuran diperoleh dari *light beam* yang dihalangi oleh sebuah penghalang transparan yang memiliki nilai obskurasi yang berbeda-beda.



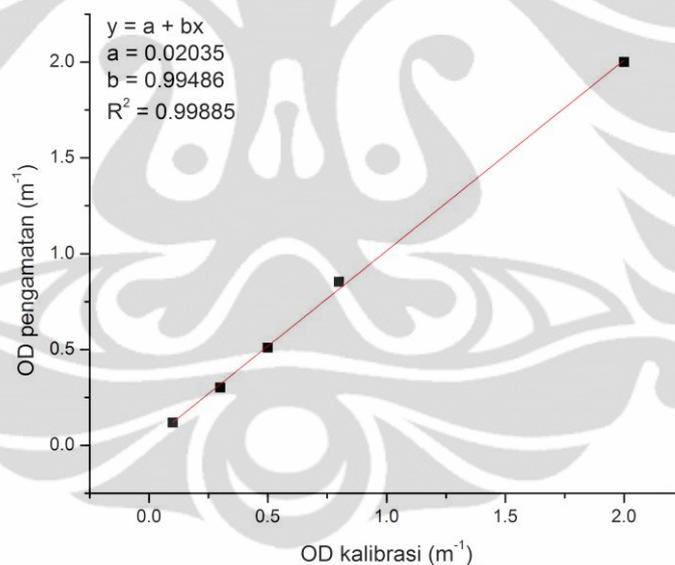
Gambar 3.6. Penghalang transparan untuk kalibrasi DIN 50055.

Hasil dari pengukuran *optical density* DIN 50055 Smoke Density Photometric System ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3.4. Data Hasil Pengukuran DIN 50055 Smoke Density Photometric System

Transmisi (%)	Optical Density (m^{-1})
76	0.119186
50	0.30103
31	0.508638
14	0.853872

Perbandingan antara hasil pengukuran dan kalibrasi ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 3.7. Grafik kalibrasi *optical density*.

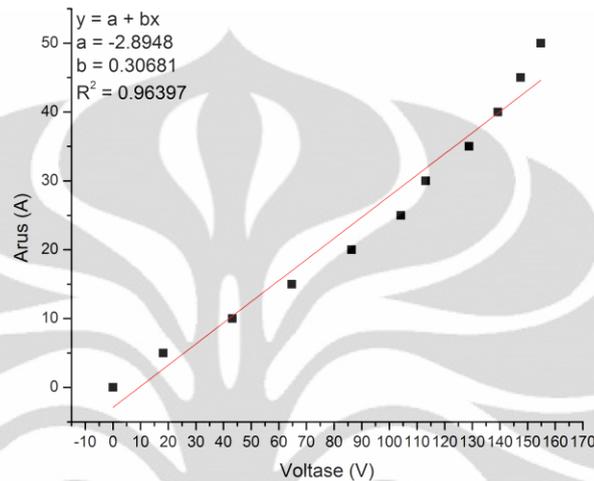
Sehingga dapat dikatakan bahwa alat opasitimeter ini dapat digunakan dan akan menghasilkan data yang benar dan valid.

3.3.2 Kalibrasi Alat Uji Kabel

Kalibrasi yang diperlukan adalah kalibrasi arus. Untuk mendapatkan nilai arus yang mengalir pada kabel, maka dilakukan

kalibrasi dengan cara memberikan voltase yang berbeda-beda dan pemberian voltase itu ditingkatkan secara gradual dengan perubahan voltase bernilai 5 V.

Hasil kalibrasinya ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 3.8. Grafik Hubungan antara arus dan voltase pada Alat Uji Kabel.

Hubungan antara voltase dan arus memenuhi persamaan:

$$V = IR \quad (3.1)$$

dimana, V = voltase (V)

I = arus listrik (A)

R = resistansi (Ω)

persamaan di atas merupakan persamaan linear sehingga digunakan *linear fitting*.

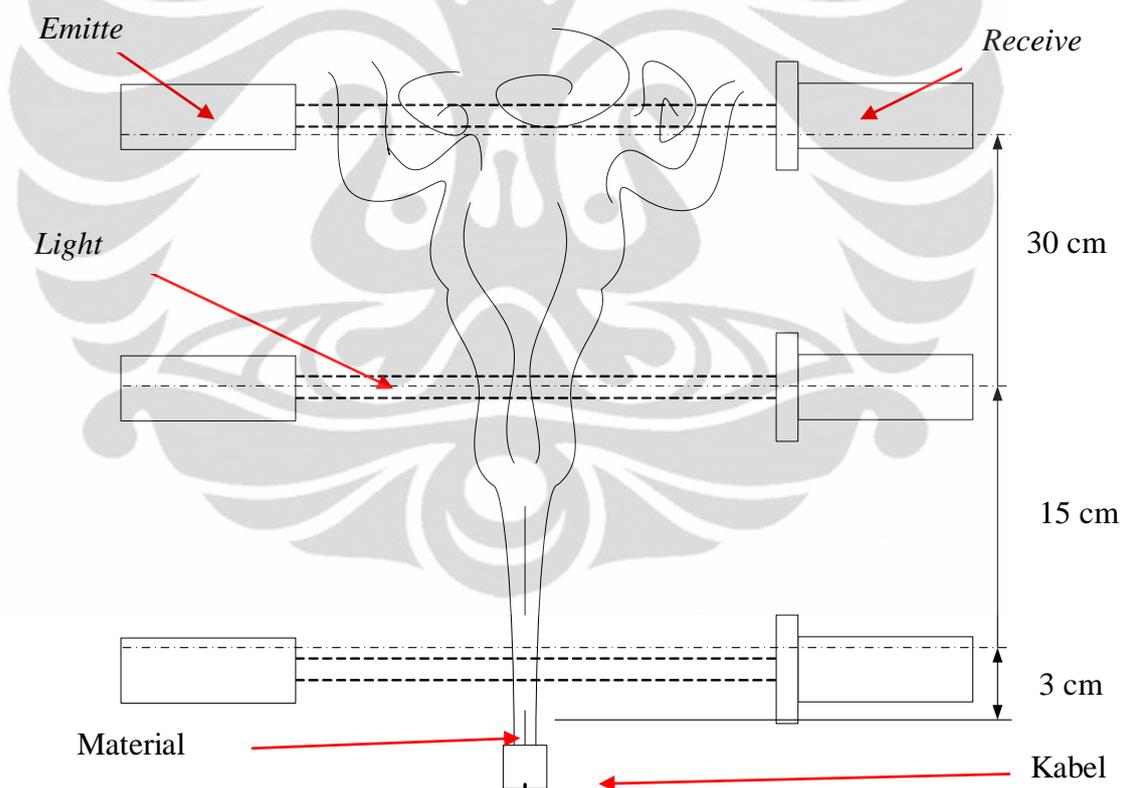
Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil pengukuran arus yang diperoleh dari alat uji kabel tersebut benar dan valid.

3.4 PROSEDUR PENELITIAN

Tahap-tahap dalam eksperimen ini dibagi menjadi, antara lain adalah:

1. Tahap Persiapan
 - a. Letakkan material uji pada bagian *jointing* kabel.

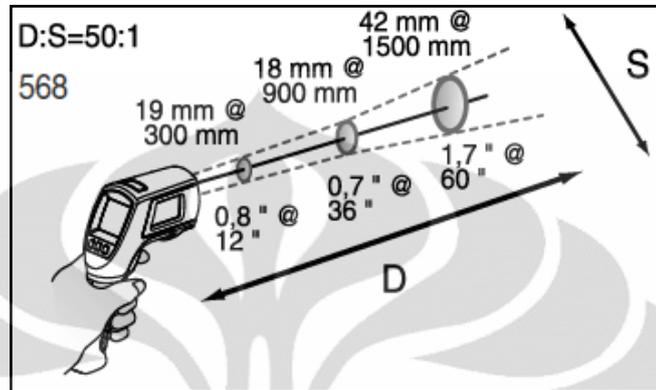
- b. Kabel yang telah diberikan material uji dililitkan pada konduktor yang menghubungkan dengan *voltage regulator*.
- c. Persiapkan DIN 50055 Smoke Density Photometric Sistem dan set ketinggian sesuai dengan kebutuhan. Ada 3 (tiga) macam jenis ketinggian yang akan diberikan, yaitu ketinggian minimum (3 cm dari sumber asap), ketinggian menengah (15 cm dari sumber asap), dan ketinggian maksimum (30 cm dari sumber asap). Hal penting yang perlu diperhatikan dalam mengoperasikan perangkat ini adalah bahwa cahaya yang ditransmisikan harus tepat mengenai *receiver* agar transmisi yang terjadi dapat sempurna.



Gambar 3.9. Skema pengukuran *optical density* asap pada berbagai ketinggian.

- d. Persiapkan CCTV kamera untuk merekam hasil pemanasan material uji.

- e. Persiapkan FLUKE® Infrared Thermometer 568 series untuk mengukur temperatur permukaan material. Pastikan sinar inframerah mengenai material uji.



Gambar 3.10. Skema perbandingan D dan S pada Fluke® IR Thermometer[19].

Cakupan daerah yang dapat terukur sesuai dengan gambar.

2. Tahap Eksperimen

Setelah seluruh tahap persiapan selesai, maka eksperimen dapat dilakukan. Tahapannya adalah sebagai berikut:

- Alat uji kabel[8] akan diset pada arus yang tetap, yaitu 128,8 A (35 V).
- Pada saat arus listrik sudah mengalir, waktu pengambilan data sudah diset yaitu selama 90 detik.
- Asap akan melewati *light beam* dari opasitimeter dan nilai transmisinya akan terakuisisi di perangkat komputer, sama halnya dengan data temperatur yang terukur pun akan langsung terakuisisi pada perangkat tersebut.
- Selama pemanasan tersebut, kamera CCTV akan terus-menerus merekam pergerakan asap. Hasil rekaman CCTV ini akan dijadikan bahan untuk mendapatkan nilai MGV (*mean gray value*) dan untuk mencari luasan asap.

- e. Karena material uji yang digunakan ada 3 (tiga) jenis dan setiap material uji memiliki 3 (tiga) jenis variasi ketinggian, maka data mentah yang diperoleh akan berjumlah 9 (sembilan) buah.

3. Tahap Pengolahan Data

Beberapa hal yang dilakukan pada pengolahan data adalah:

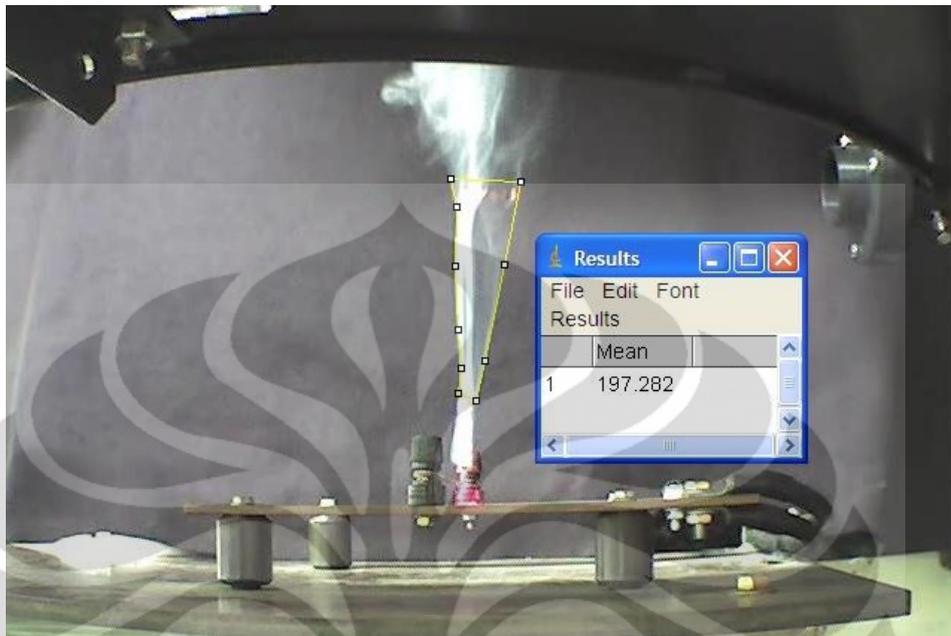
1. Data-data yang telah diperoleh dari opasitimeter yang berupa nilai transmisi akan diubah menjadi nilai optical density, sesuai dengan persamaan 2.13. Berikut adalah contoh konversi dari nilai transmisi menjadi nilai optical density.

Tabel 3.5. Salah satu contoh konversi nilai transmisi menjadi nilai *optical density*.

Transmisi (%)	Optical Density (m^{-1})
99.85	0.000652
99.85	0.000652
99.85	0.000652
99.85	0.000652
99.85	0.000652
99.85	0.000652
99.85	0.000652
99.85	0.000652
99.85	0.000652
99.83	0.000739
99.83	0.000739
99.81	0.000826
99.81	0.000826
99.81	0.000826

2. Hasil rekaman kamera digunakan untuk mencari nilai MGV dan perkembangan luas daerah asap. Nilai MGV dan luas asap diperoleh dengan cara

mengolah gambar dari kamera dengan menggunakan perangkat lunak imageJ®.



Gambar 3.11. Salah satu contoh pengolahan citra untuk mendapatkan nilai MGV.

Khusus untuk luas asap, yang diolah adalah *blob* hasil pendeteksian video smoke detection yang telah dikembangkan oleh Suwarno.



Gambar 3.12. Salah satu contoh pengolahan citra untuk mendapatkan luasan asap.

Nilai data temperatur yang diperoleh akan dibandingkan dengan waktu pemanasan. Sehingga dari perbandingan itu akan diperoleh pengaruh karakteristik material terhadap kenaikan suhu dan produksi asap.

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS

Bagian ini akan membahas hasil dan analisis yang telah diperoleh dari eksperimen. Bab ini akan dibagi menjadi 2 (dua) poin utama, yaitu pengaruh karakteristik material terhadap karakteristik asap yang dihasilkan dan korelasi *optical density* asap dengan *mean gray value* dari pengolahan citra.

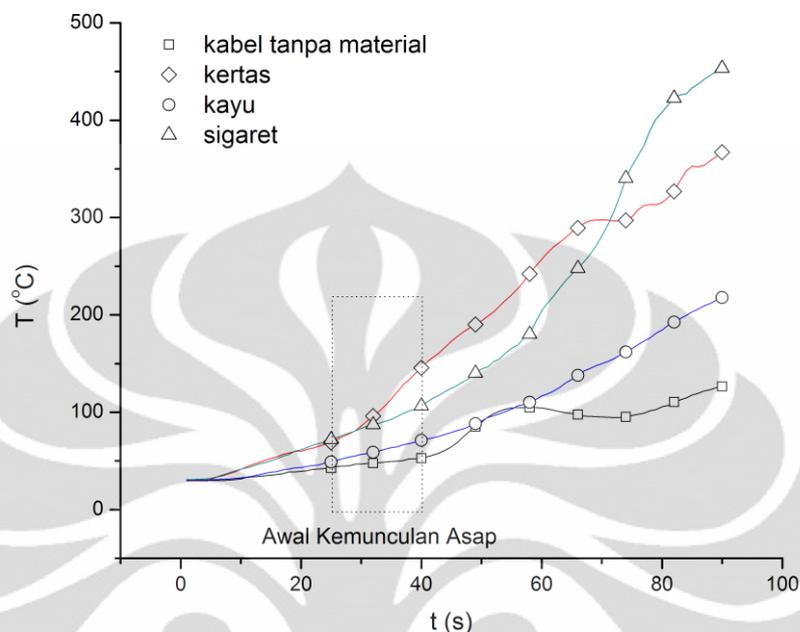
4.1 HUBUNGAN KARAKTERISTIK MATERIAL DENGAN ASAP YANG DIHASILKAN

4.1.1 Hubungan Karakteristik Material dengan Kenaikan Temperatur.

Peningkatan temperatur pada material yang diletakkan pada bagian *jointing* kabel merupakan akibat dari mengalirnya kalor. Perpindahan panas pada material *poreless* (dalam hal ini kabel tembaga) diasumsikan didominasi oleh konduksi. Namun, pada kondisi aktual, pada material-material konvensional (seperti material-material di dalam bangunan), kalor mengalir secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

Peningkatan temperatur material terhadap waktu berkaitan erat dengan karakteristik termal dari material itu sendiri, lebih spesifiknya adalah *diffusivity thermal*, seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Temperatur yang diukur pada material adalah temperatur permukaannya dengan menggunakan thermometer inframerah. Hasil pengukuran temperatur tersebut ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 4.1. Grafik kenaikan temperatur terhadap waktu.

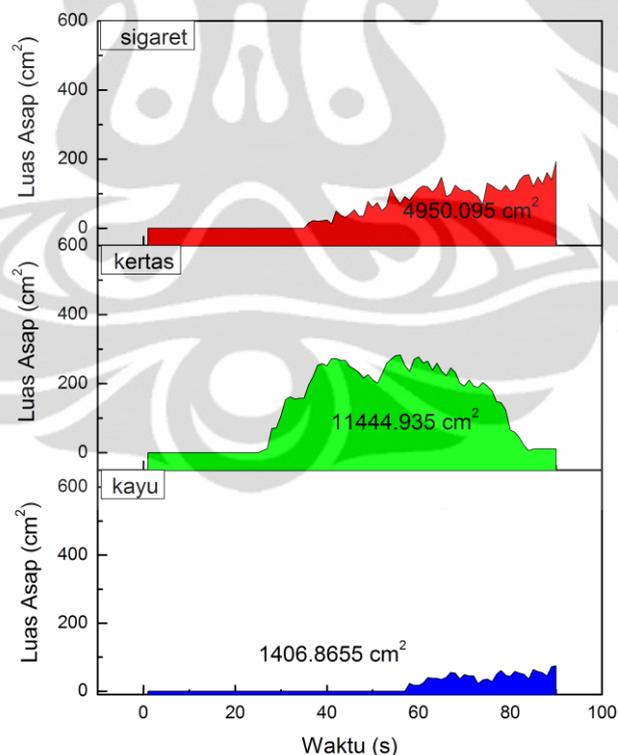
Berdasarkan grafik tersebut, material yang paling cepat menghasilkan asap adalah sigaret ($t = 25s$). Berikutnya adalah kertas ($t = 32s$) dan kayu ($t = 40s$). Hal ini dipengaruhi oleh nilai α (*diffusivity thermal*) masing-masing material. Berdasarkan Tabel 3.1, $\alpha_{\text{sigaret}} < \alpha_{\text{kertas}} < \alpha_{\text{kayu}}$. Oleh karena itu, asap muncul lebih awal pada sigaret dibandingkan dengan material lainnya.

Temperatur pada kabel mengalami kenaikan yang paling rendah dibandingkan dengan material lainnya. Hal tersebut dapat terjadi disebabkan beberapa hal. Pertama, ini disebabkan nilai konduktivitas tembaga (kabel) sangat tinggi, yaitu mencapai 400 W/m.K [21], sehingga arus listrik dapat mengalir dengan cepat, mengakibatkan kalor tidak terakumulasi pada satu titik. Kedua, transfer panas pada kabel terjadi secara konduksi, hal ini disebabkan nilai ρ (densitas) kabel sangat tinggi, sehingga kabel termasuk jenis material *poreless*. Terakhir, disebabkan karena panas yang dialirkan pada kabel merupakan hasil dari aliran listrik

dan seperti yang telah diketahui bahwa tembaga merupakan konduktor terbaik karena memiliki nilai hambatan yang rendah. Berdasarkan persamaan Joule (2.3) maka kalor yang diterima kabel akan lebih kecil dari material lainnya karena hambatannya yang rendah.

Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa material yang mengalami kenaikan temperatur paling tinggi adalah sigaret lalu diikuti oleh kertas dan berikutnya adalah kayu. Hal ini disebabkan oleh nilai α_{sigaret} yang paling tinggi. *Thermal diffusivity* (α) adalah nilai yang menunjukkan laju aliran panas pada material, dimana satuannya adalah mm^2/s . Artinya, semakin tinggi nilai α maka laju peningkatan panas akan terjadi semakin cepat, begitu pula dengan peningkatan temperatur yang terjadi.

4.1.2 Hubungan Karakteristik Material dengan Luasan Asap.



Gambar. 4.2. Grafik luas asap vs waktu.

Luasan asap yang diperoleh pada Gambar 4.2 merupakan hasil deteksi (*blobbing*) *software video smoke detection* yang telah

dikembangkan oleh Suwarno dan Lutfi[5, 6]. Fenomena awal kemunculan asap ditentukan oleh kemampuan deteksi *software* yang mana sangat dipengaruhi oleh nilai *threshold*. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa asap terdeteksi lebih awal pada kertas, lalu diikuti oleh kayu, dan terakhir adalah sigaret. Merujuk pada Gambar 4.1 bahwa asap muncul lebih cepat pada material sigaret, membuat hasil yang sedikit berbeda dengan Gambar 4.2 ini. Hal ini ditentukan oleh tingkat sensitivitas *software video smoke detection* tersebut. Kemungkinan yang terjadi adalah bahwa meskipun asap sudah keluar secara kasat mata namun belum terdeteksi oleh *software* itu.

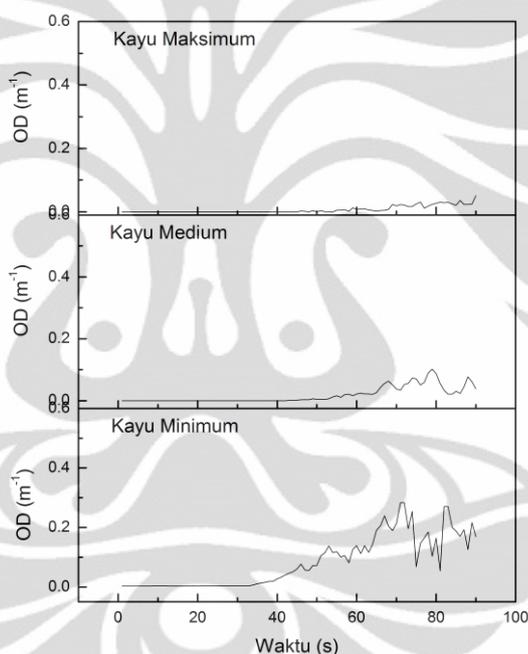
Material yang menghasilkan luasan paling besar adalah kertas, berikutnya adalah sigaret, dan terakhir adalah kayu. Merujuk ke Tabel 3.1 bahwa $\alpha_{\text{sigaret}} > \alpha_{\text{kertas}} > \alpha_{\text{kayu}}$, seharusnya luasan asap sigaret menjadi yang paling luas. Ada beberapa hal yang mampu menjelaskan fenomena tersebut. Pertama, mengenai struktur kepadatan material tersebut. Meskipun secara literatur $\alpha_{\text{sigaret}} > \alpha_{\text{kertas}}$, akan tetapi pada kenyataannya, sigaret merupakan kumpulan tembakau yang notabene memiliki kerenggangan yang cukup besar dibandingkan dengan kertas. Hal ini yang menyebabkan daerah kontak antara kabel dengan sigaret (tembakau-tembakau penyusunnya) menjadi lebih kecil, sehingga asap yang dihasilkan pun tidak lebih banyak daripada material kertas.

Kedua, jika dilihat dari trend grafik luasan asap yang ditunjukkan pada material sigaret, trend tersebut masih dalam keadaan naik hingga waktu uji selesai, sedangkan untuk trend luas kertas sudah menurun. Batasan waktu yang telah diberikan pada penelitian ini untuk memberikan parameter yang sama antara satu material uji dengan material uji lainnya ternyata memberikan hasil yang berbeda antara satu material dengan material lainnya. Terdapat material yang dengan waktu 90 s sudah habis terbakar, namun ada pula material yang belum habis terbakar.

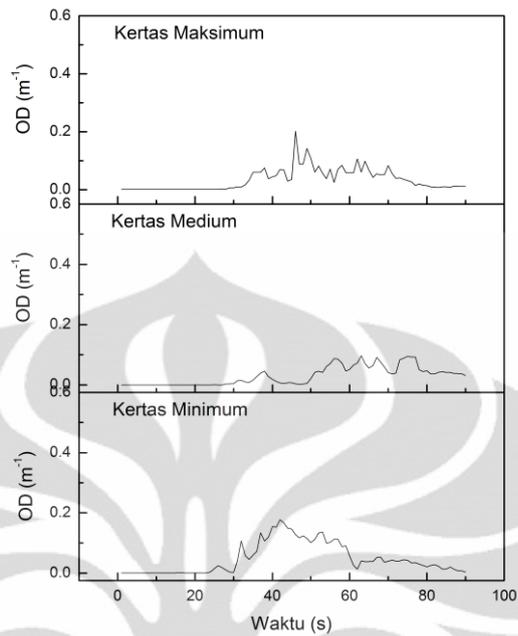
Pada material kayu yang memiliki nilai α terendah akan memberikan luas asap yang paling rendah pula. Di sisi lain, kandungan uap air kayu lebih besar daripada kertas dan sigaret yang sudah mengalami proses pengeringan[12].

4.1.3 Hubungan Karakteristik Material dengan *Optical Density* Asap.

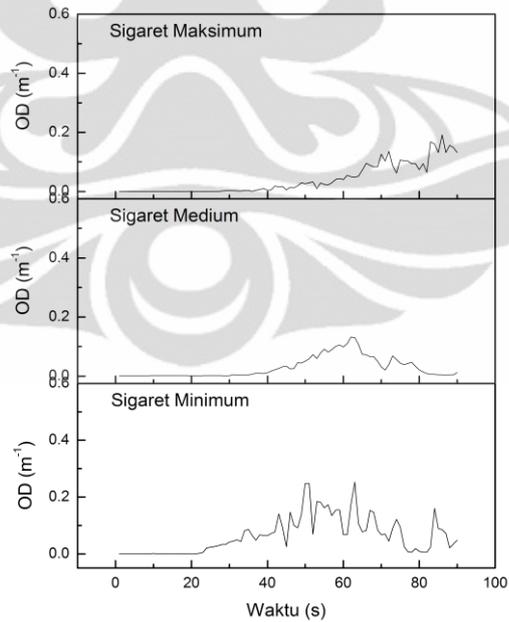
Hal penting yang perlu diamati lebih lanjut adalah *optical density* dari asap. Setiap material memiliki nilai *optical density* asap yang berbeda-beda. Berikut ini adalah hasil nilai OD tiap material.



(a)



(b)



(c)

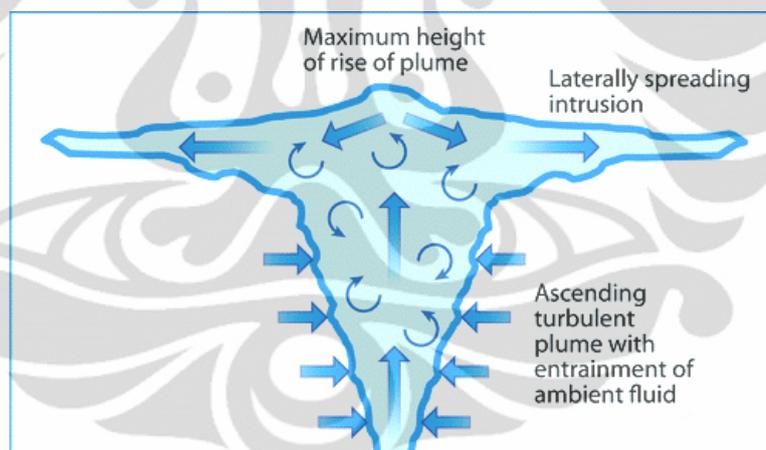
Gambar 4.3. Grafik OD pada berbagai ketinggian yang dihasilkan dari pemanasan material (a) kayu, (b) kertas, dan (c) sigaret.

Nilai *optical density* terbesar dari tiap asap hasil pemanasan material uji ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.1. Nilai *Optical Density* (m^{-1}) Terukur Berbagai Material

Ketinggian Material	30 cm	15 cm	3 cm
Kayu	0.051	0.101	0.283
Kertas	0.201	0.096	0.177
Sigaret	0.191	0.132	0.253

Hal menarik yang diperoleh dari pengolahan *optical density* ini adalah bahwa ketinggian mempengaruhi nilai *optical density*. Hal ini sesuai dengan fenomena gaya apung asap yang telah ditunjukkan pada persamaan Grashof.



Gambar 4.4. Perkembangan asap[22].

Sesuai dengan Gambar 4.4, pada ketinggian tertentu ketika asap semakin meluas, konsentrasinya justru menurun dengan kata lain hal ini menyebabkan obskurasi (*optical density*) semakin berkurang. Fenomena berkurangnya konsentrasi asap seiring dengan kenaikan ketinggian disebabkan oleh gaya apung asap tersebut. Pada awal kemunculan asap, momentum awal yang dimiliki asap sangat besar sehingga konsentrasi asap begitu pekat dan asap dapat meluncur ke atas dengan baik. Namun,

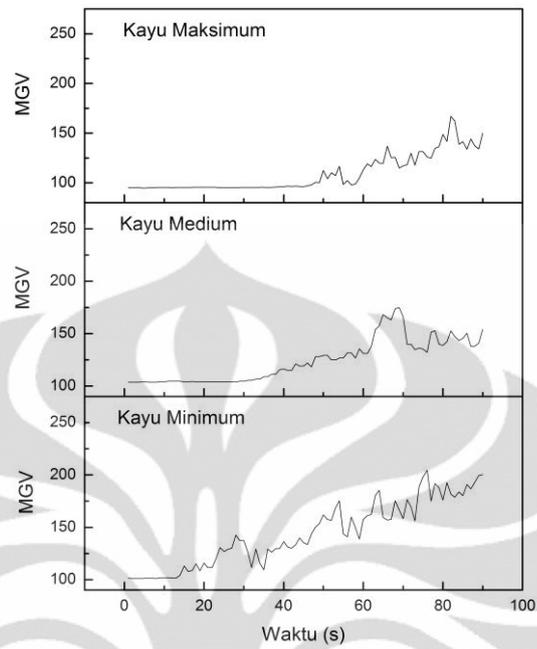
setelah melewati ketinggian tertentu, gaya apung asap semakin lama akan semakin menurun dan bahkan akan mencapai nilai negatif pada ketinggian maksimum yang bisa dicapainya karena asap akan bergesekan dengan viskositas udara sekitar. Hal ini yang membuat konsentrasi asap menurun dan bahkan asap akan bergerak kembali ke bawah ketika gaya apungnya tidak mampu melawan gaya gravitasi (gaya apung negatif). Selain pengaruh gaya apung, kondisi lingkungan pun mempengaruhi hal tersebut. Salah satunya adalah kondisi angin yang berhembus.

4.2 KORELASI OPTICAL DENSITY ASAP TERUKUR DENGAN TINGKAT KEABU-ABUAN RATA-RATA (*MEAN GRAY VALUE*) HASIL PENGOLAHAN CITRA.

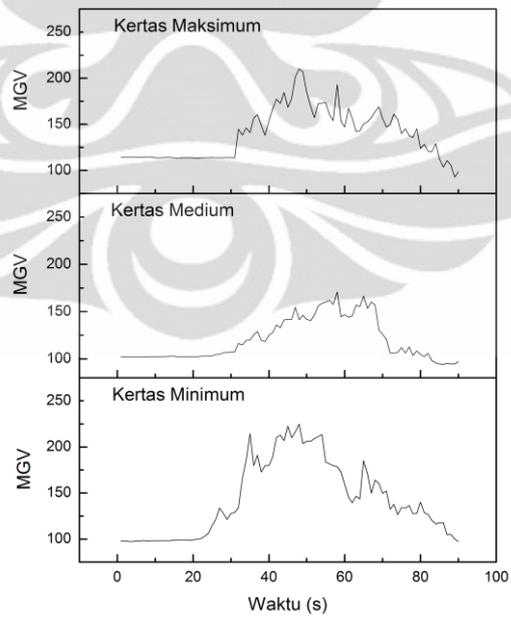
Mean Gray Value adalah tingkat rata-rata keabu-abuan yang diperoleh dari suatu daerah pada citra yang diamati. Pada penelitian ini, untuk memperoleh nilai MGV digunakan perangkat lunak imageJ[®], yaitu dengan cara mengolah setiap frame yang telah diperoleh dari rekaman kamera CCTV, seperti yang telah dijelaskan pada Bab 3. MGV merupakan jenis citra 8 bit yang lebih sederhana daripada RGB yang bernilai 24 bit.

4.2.1 Nilai MGV Tiap-tiap Material

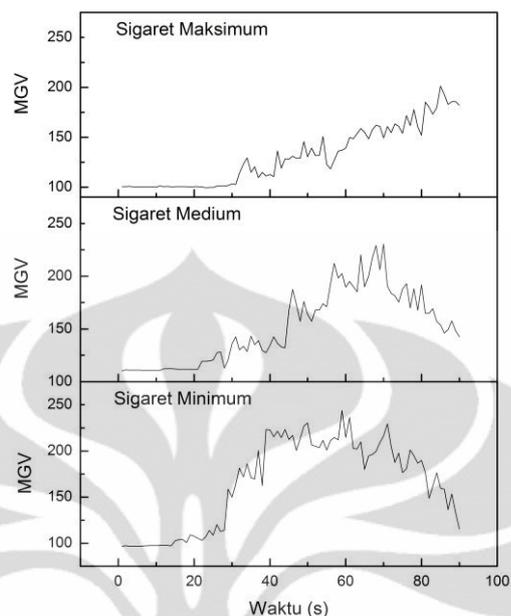
Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan nilai MGV tiap-tiap material uji.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.5. Grafik MG_V pada berbagai ketinggian yang dihasilkan dari pemanasan material (a) kayu, (b) kertas, dan (c) sigaret.

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa nilai MG_V menurun seiring dengan meningkatnya ketinggian, ini terjadi dengan sempurna pada (a) dan (c). Nilai MG_V tersebut merepresentasikan konsentrasi asap (*optical density*).

Akan tetapi pada (b) terlihat bahwa justru ketinggian mediumlah yang memiliki nilai MG_V terendah, hal ini dapat saja terjadi pada saat pengolahan dengan menggunakan imageJ[®] karena pada setiap pengambilan data intensitas cahaya selalu berubah seiring dengan perubahan kedudukan kamera CCTV yang digunakan untuk merekam.

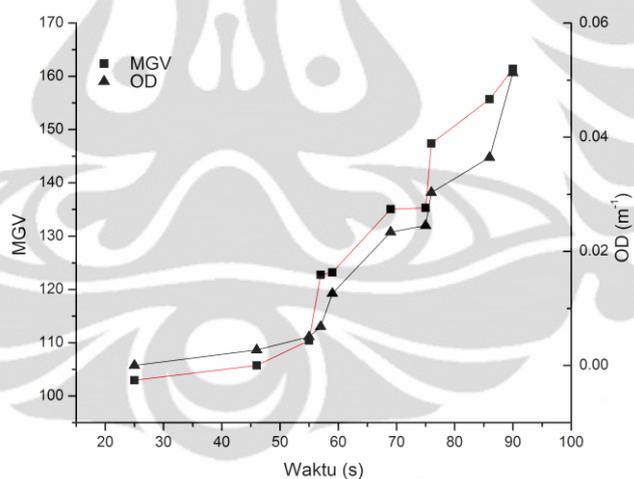
4.2.2 Korelasi Optical Density dengan Mean Gray Value

Trend nilai optical density yang diperoleh pada percobaan ini menyerupai tren MG_V yang telah dibahas pada bagian sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya konsentrasi asap seiring dengan

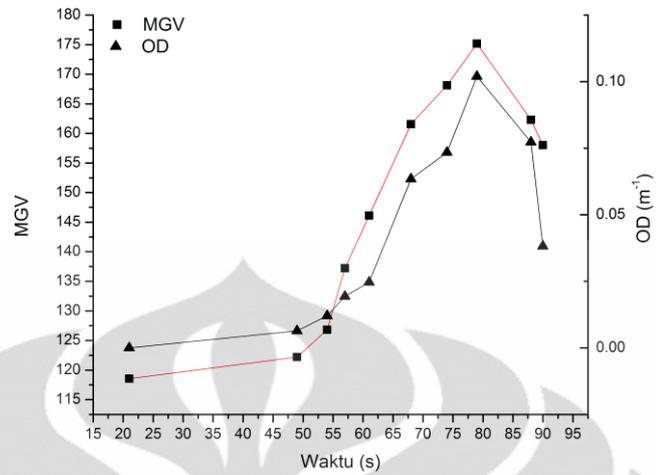
bertambahnya ketinggian. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibahas mengenai hubungan antara nilai *mean gray value* dan *optical density*, sehingga jika diperoleh hubungan yang erat, kedepannya penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu *platform* dalam mengembangkan deteksi asap berbasis citra.

Penentuan korelasi antara *optical density* dan *mean gray value* pada penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel di frame yang sama antara *optical density* terukur dan *mean gray value*. Hal ini dilakukan karena pengukuran asap bersifat sangat dinamis dan tidak ajeg, sehingga persebaran datanya terlalu luas. Hasil perbandingan yang diperoleh antara nilai *mean grey value* (MGV) dengan nilai *optical density* (OD) adalah sebagai berikut:

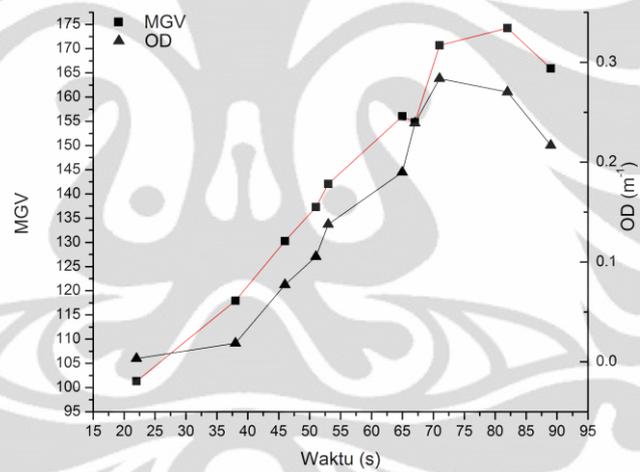
a. Material Kayu



(a)



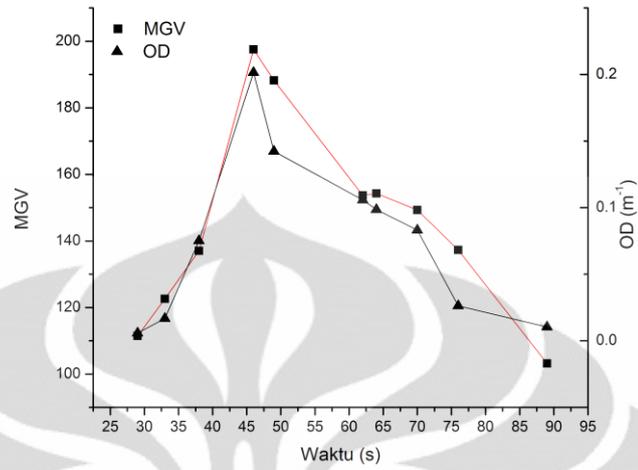
(b)



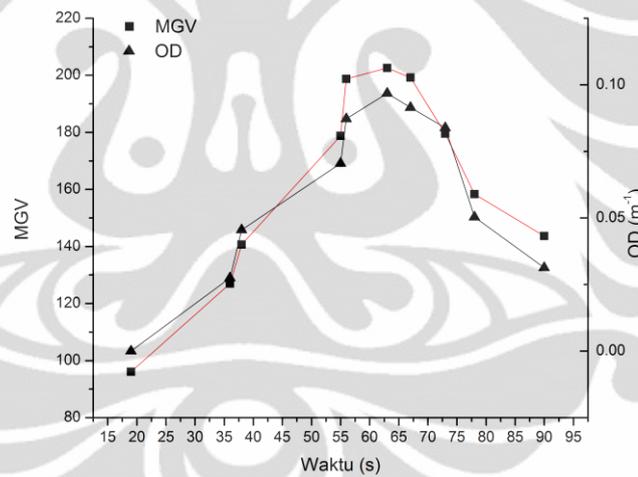
(c)

Gambar 4.6. Perbandingan antara nilai MGV dan OD material kayu terhadap waktu pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap.

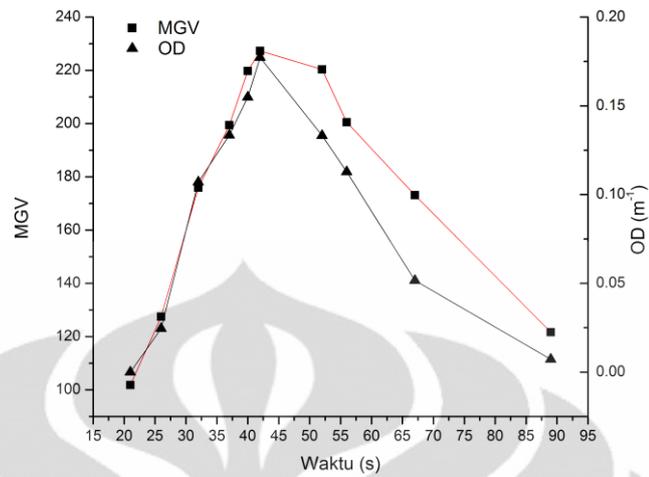
b. Material Kertas



(a)



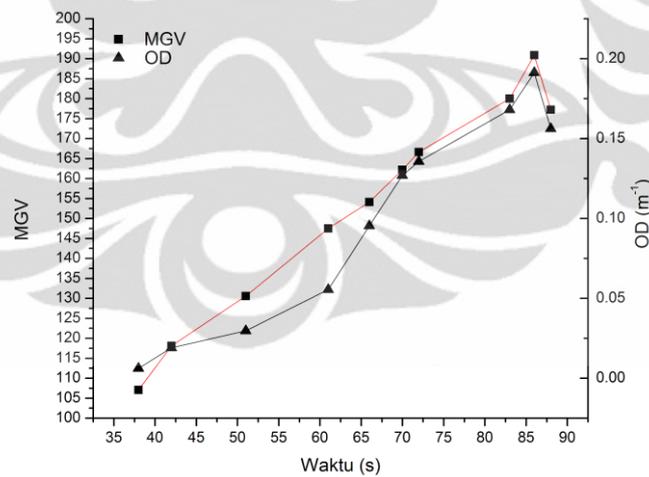
(b)



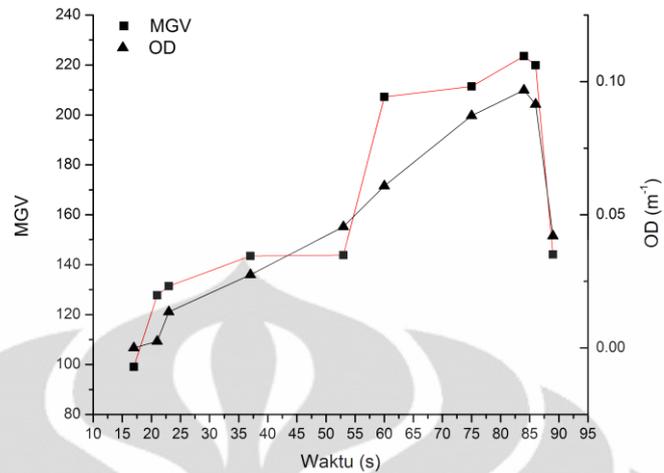
(c)

Gambar 4.7. Perbandingan antara nilai MGV dan OD material kertas terhadap waktu pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap.

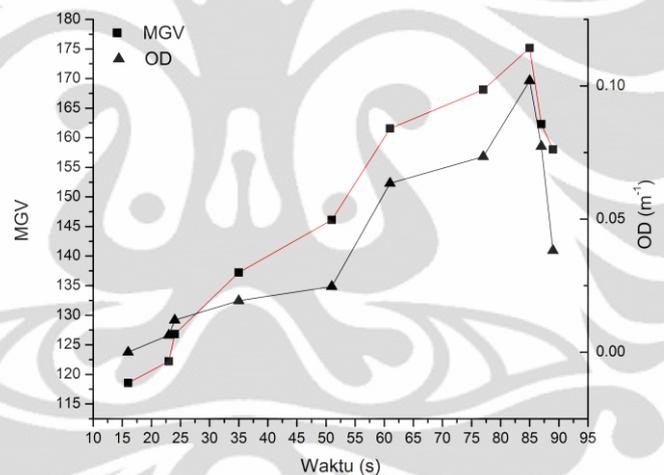
c. Material Sigaret



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8. Perbandingan antara nilai MGV dan OD material sigaret terhadap waktu pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap.

Berdasarkan grafik perbandingan yang diperoleh di atas, dapat dilihat bahwa nilai OD dan MGV berdasarkan waktu memiliki tren yang mendekati sama. Hal ini menunjukkan bahwa korelasi antara MGV dan OD sangatlah erat. Hubungan antara nilai MGV dan OD tidak dapat dinyatakan sebagai sebuah hubungan linear sederhana karena seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.13 bahwa hubungan OD (*optical density*)

dan T (transmisi) membentuk persamaan logaritmik. Ada beberapa macam pendekatan, yaitu polynomial pangkat dua dan Rodbard[24]. Bentuk umum yang digunakan pada persamaan polynomial pangkat dua adalah:

$$y = a + bx + cx^2 \quad 4.1$$

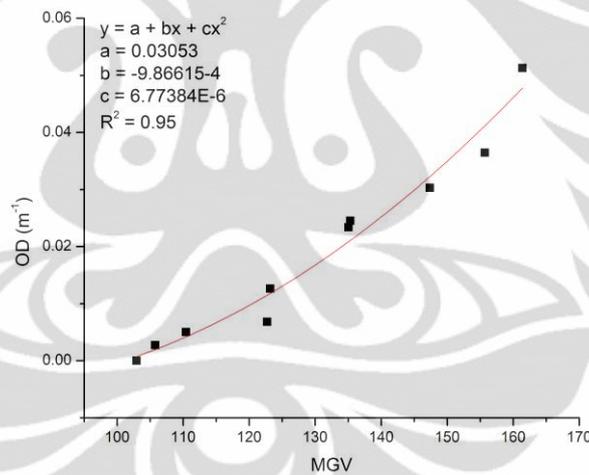
sedangkan untuk persamaan Rodbard adalah:

$$y = c \cdot \frac{(a-x)}{(x-d)} \cdot \frac{1}{b} \quad 4.2$$

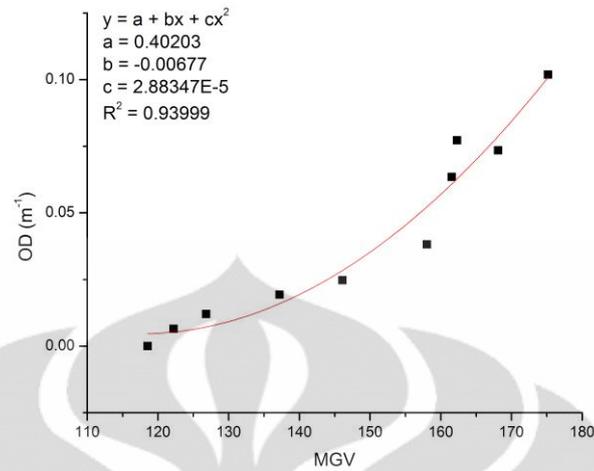
Pada pembahasan ini akan digunakan korelasi polynomial pangkat dua untuk mendapatkan perhitungan yang lebih sederhana.

Pengolahan pada imageJ menghasilkan hubungan OD dan MGW pada masing-masing material adalah sebagai berikut:

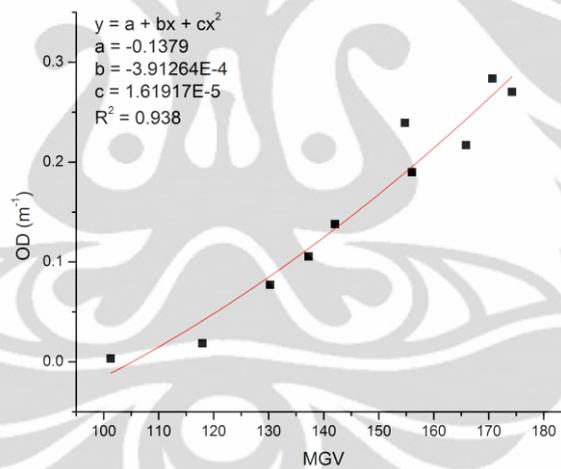
a. Material Kayu



(a)



(b)

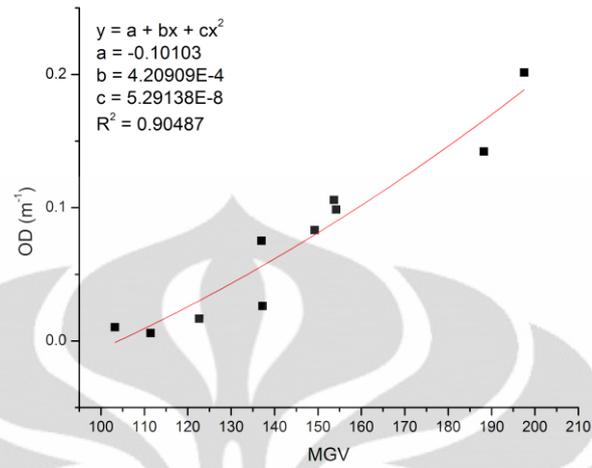


(c)

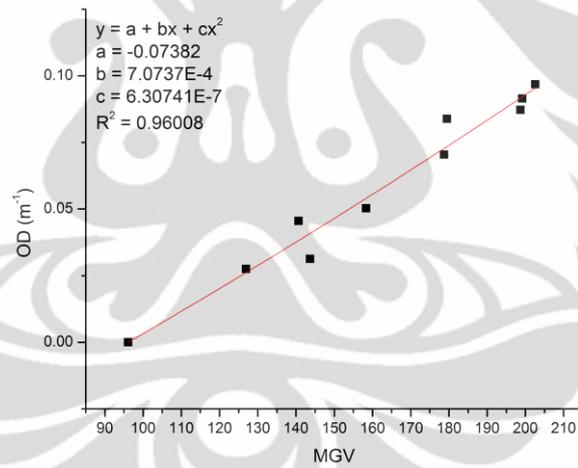
Gambar 4.9. Hubungan antara nilai OD dan MGV asap dari material kayu pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap.

Hasil *fitting* OD-MGV pada material kayu yang paling mendekati data kalibrasi adalah pada ketinggian maksimum (30 cm dari sumber asap).

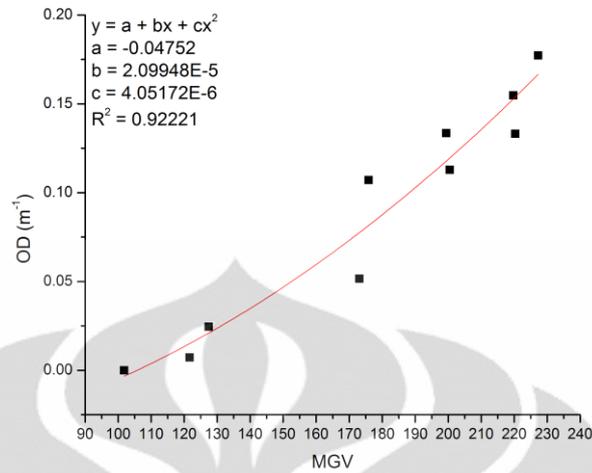
b. Material Kertas



(a)



(b)

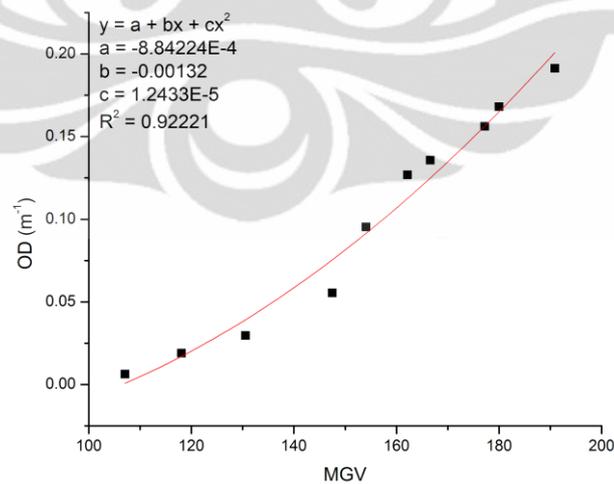


(c)

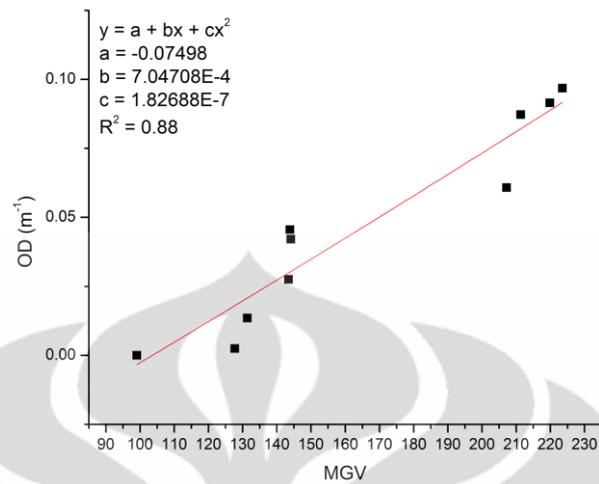
Gambar 4.10. Hubungan antara nilai OD dan MGV asap dari material kertas pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap.

Hasil *fitting* OD-MGV pada material kertas yang paling mendekati data kalibrasi adalah pada ketinggian medium (15 cm dari sumber asap).

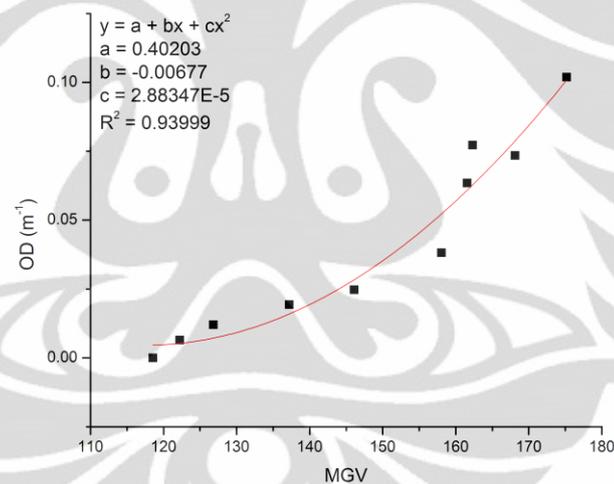
c. Material Sigaret



(a)



(b)



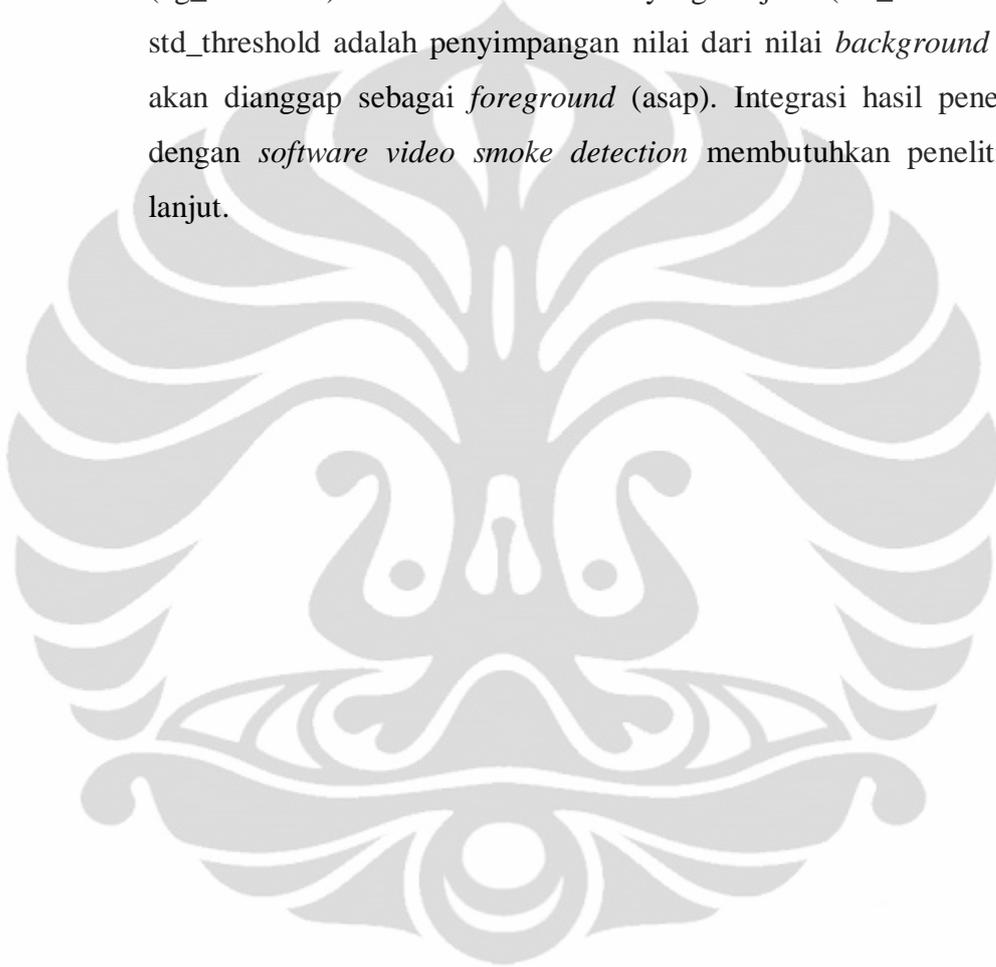
(c)

Gambar. 4.11. Hubungan antara nilai OD dan MGV asap dari material sigaret pada 3 (tiga) jenis ketinggian, (a) 30 cm dari sumber asap, (b) 15 cm dari sumber asap, (c) 3 cm dari sumber asap.

Hasil *fitting* OD-MGV pada material sigaret yang paling mendekati data kalibrasi adalah pada ketinggian minimum (3 cm dari sumber asap).

Berdasarkan hasil *fitting* yang diperoleh dari seluruh material uji, menunjukkan hubungan yang erat antara nilai *optical density* dan *mean gray value*. Hal ini mengindikasikan nilai obskurasi (keburaman) yang diperoleh dari pengukuran langsung dapat direpresentasikan pada frame

dalam bentuk frame 8 bit yang memiliki tingkat keburaman yang akan sama dengan tingkat keburaman asap pada keadaan sebenarnya. Akan tetapi tentu saja hal yang penting dipertimbangkan adalah tingkat iluminasi ketika instalasi video kamera. Dalam Suwarno dan Lutfi, salah satu parameter untuk proses substraksi adalah nilai *threshold background* (*bg_threshold*) dan standar deviasi yang terjadi (*std_threshold*). Nilai *std_threshold* adalah penyimpangan nilai dari nilai *background* sehingga akan dianggap sebagai *foreground* (asap). Integrasi hasil penelitian ini dengan *software video smoke detection* membutuhkan penelitian lebih lanjut.



BAB 5

PENUTUP

Bagian ini berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran untuk penelitian di bidang yang sama ke depannya.

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian mengenai karakteristik asap ini antara lain adalah:

1. Material selulosik memiliki proses pirolisis yang cukup kompleks disebabkan oleh susunan kimia dan kandungan uap air yang ada di dalamnya. Dibutuhkan waktu dan beberapa tahapan sebelum akhirnya sebuah material selulosik dapat terbakar sempurna.
2. Asap yang dihasilkan pada eksperimen ini adalah asap dari hasil pemanasan bukan pembakaran, sehingga asap yang dihasilkan pun cenderung berwarna putih tidak berwarna hitam. Asap tersebut merupakan hasil dari pirolisis material yang dipanaskan.
3. Setiap material memiliki nilai *thermal diffusivity* (α), yaitu nilai yang menunjukkan laju aliran panas pada material. Semakin tinggi nilai α maka laju peningkatan panas akan terjadi semakin cepat, begitu pula dengan peningkatan temperatur yang terjadi. Berdasarkan literatur nilai α material-material uji ini adalah bahwa $\alpha_{\text{sigaret}} < \alpha_{\text{kertas}} < \alpha_{\text{kayu}}$. Nilai literatur tersebut terbukti benar karena berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan kenaikan temperatur terbesar dialami oleh sigaret lalu berikutnya adalah kertas dan kayu.

4. Selain berpengaruh terhadap kenaikan temperatur, karakteristik thermal material tersebut juga akan berpengaruh terhadap luasan asap yang terbentuk. Seharusnya, semakin tinggi α akan menyebabkan luasan asap pun semakin besar. Akan tetapi, pada kenyataannya terdapat banyak faktor yang mempengaruhi, salah satunya adalah luas bidang kontak antara material dengan kabel. Hal ini menyebabkan material tidak terpanaskan secara sempurna.
5. Setiap asap akan menyebabkan tingkat obskurasi (keburaman) lingkungan bertambah. Hal ini direpresentasikan oleh nilai *optical density* dari asap tersebut. Nilai *optical density* asap sangat dipengaruhi dari jenis material, cara produksi asap, ketinggian, dan keadaan lingkungan. Pada penelitian ini, material yang memiliki nilai *optical density* terbesar adalah kertas, lalu berikutnya diikuti oleh sigaret dan kayu. Hal ini dapat terjadi disebabkan kertaslah yang, pada penelitian ini, dapat di-*mounting* pada kabel dengan sempurna. Di sisi lain, hal yang menyebabkan kertas dan sigaret memiliki *optical density* yang lebih besar dibandingkan kayu adalah karena kertas dan sigaret merupakan produk olahan material selulosik yang telah mengalami proses pengeringan sehingga kandungan uap air pada kedua material tersebut jauh lebih sedikit dibandingkan dengan uap air yang terkandung pada kayu.
6. Ketinggian berperan penting dalam menentukan tingkat *optical density* asap. Hal ini seperti yang dijelaskan pada persamaan Grashof, bahwa gaya apung yang dimiliki asap akan terhambat oleh viskositas fluida sekitar (dalam hal ini udara), sehingga semakin tinggi asap naik, maka berkuranglah nilai *optical density*-nya.

7. Pada penelitian ini ditunjukkan bahwa nilai *optical density* yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung memiliki hubungan yang erat dengan nilai *mean gray value* yang ditangkap oleh citra.

5.2 SARAN

Saran yang ingin diberikan untuk penelitian di bidang ini, dengan harapan dapat menjadi sebuah gagasan konstruktif, antara lain adalah:

1. Untuk menentukan korelasi antara nilai *optical density* dan *mean gray value*, setup kamera lebih baik tidak berubah, karena hal ini akan sangat berpengaruh pada tingkat iluminasi citra yang diperoleh.
2. Cahaya yang digunakan di laboratorium ketika melakukan proses perekaman sebaiknya berasal dari 1 (buah) lampu saja yang memiliki intensitas cahaya yang kuat. Hal ini dimaksudkan agar sumber cahaya hanya satu dan searah serta menghindari *shadowing* (saling bertumpuknya bayangan disebabkan oleh bertabrakannya sumber cahaya).
3. Posisi kamera perekam, dalam hal ini kamera CCTV, sebaiknya sejajar dengan *light beam* yang dihasilkan oleh opasitimeter.
4. Sebaiknya pengerjaan penelitian di bidang *fire* beriringan dengan penelitian dengan ilmu *computer science*-nya, agar ketika terjadi kesulitan satu sama lain dapat segera terselesaikan dengan baik.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Direktorat Jendral Cipta Karya. (2008). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No: 26/PRT/M/2008 Tanggal 30 Desember 2008 Tentang Persyaratan Teknis Sistem Proteksi Kebakaran pada Bangunan Gedung dan Lingkungan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- [2] Budiman, A. (2010). *Pengaruh Jenis Pembakaran dan Bentuk Geometri Ruang Terhadap Aktivasi Detektor Asap*. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [3] Jakti, E.W. (2010). *Pengaruh Dinamika Asap Hasil Pemanasan Kabel pada Pendeteksian Berbasis Pencitraan Gambar*. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [4] Steven Verstockt, Alexander Vanoosthuysse, Bart Merci, Nele Tilley, Bart Sette, Charles F. Hollemeersch, Peter Lambert, Rik Van de Walle, *Performance Evaluation Framework for Vision-Based Fire Detection*, Proceeding of the Interflam 2010, pp. 256-268.
- [5] Suwarno. (2010). *Sistem Deteksi Asap Berbasis Video Untuk Deteksi Dini Kebakaran Menggunakan Adaptive Gaussian Mixture Model dan Sistem Inferensi Fuzzy*. Depok: Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia.
- [6] Ardiansyah, L. (2010). *Modifikasi dan Pengembangan Sistem Deteksi Asap Berbasis Video*. Depok: Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia.
- [7] Drysdale, D. *An Introduction to Fire Dynamics 2nd Edition*. England : John Wiley & Sons, 1998.
- [8] Adrianus. (2008). *Pengaruh Jenis Sambungan Kabel Listrik Terhadap Potensi Bahaya Kebakaran*. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [9] Quintiere, G.J. (2006). *Fundamentals of Fire Phenomena*. England: John Willey & Sons.
- [10] Vogel, M. (2005). *Heating with Wood: Principles of Combustion*. USA: Montana State University.
- [11] Ohllemiller, T.J., Villa, K.M., Braun, E., Eberhardt, K.R., Harris-Jr, R.H., Lawason, J.R., Gann, R.G., “*Quantifying the ignition propensity of cigarettes*”, *Fire and Materials*, Vol. 19, pp 155-169, 1995.

- [12] Costa, F.S. *Natural Smoldering of Cigarette*. Proceedings of HT2003 ASME Summer Heat Transfer Conference July 21-23, 2003, Las Vegas, Nevada, USA.
- [13] Kanury, A.M., Holve, D.J., “Transient Conduction with Pyrolysis (Approximate Solutions for Charring of Wood Slabs)”, *Transactions of the Asme*, vol. 104: 338-343, 1982.
- [14] McGrattan K., *Cable Response to Live Fire, Volume 3 : Thermally-Induced Electrical Failure (THIEF) Model*. NIST Building and Fire Research Laboratory, Maryland, 2007.
- [15] Mulholland, G.W., *Smoke Production and Properties*. Chapter 13, The SFPE Handbook, 3rd Edition, 2002.
- [16] Nugroho, Y.S., et all. (2011). *In Situ Measurement of Early Smoke Plume Density*. 1st Conference of Safety and Crisis Management.
- [17] Kiswanto, G. (2010). *Membangun Sistem Machine Vision*. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [18] Paryono, P., Kurniawan, E., Wibowo, E. Citra Digital.
- [19] FLUKE[®], *Infrared Thermometer 568 Users Manual*, Everett, WA., 2007.
- [20] Fire Testing Technology, *Smoke Density Photometric System (DIN 50055) Users Manual*, West Sussex, UK.
- [21] *Solid-Specific Heats*, Diakses April 2010, dari <http://www.engineeringtoolbox.com/solid-specificheats.html>.
- [22] Woods, A.W. (2010). *Annu. Rev. Fluid. Mech.* 42:391-412.
- [23] *Why is it dangerous to burn wrapping paper?*, diakses April 2010, dari <http://www.straightdope.com/threadspotting/why-is-it-dangerous-to-burn-wrapping-paper?/>
- [24] Analyze Menu. ImageJ Tutorial Guide.