



UNIVERSITAS INDONESIA

PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI ASAP TIPE FOTOELEKTRIK
BERBASIS *MICRO CONTROLLER* DAN APLIKASINYA DALAM
PENGUKURAN *OPTICAL DENSITY*

SKRIPSI

Tito Apriano
0806330503

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI ASAP TIPE FOTOELEKTRIK
BERBASIS *MICRO CONTROLLER* DAN APLIKASINYA DALAM
PENGUKURAN *OPTICAL DENSITY*

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tito Apriano

0806330503

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Tito Apriano

NPM : 0806130503

Tanda Tangan 

Tanggal : 10 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh : Tito Apriano
Nama : Tito Apriano
NPM : 0806330503
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi :

**PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI ASAP TIPE FOTOELEKTRIK
BERBASIS *MICRO CONTROLLER* DAN APLIKASINYA DALAM
PENGUKURAN OPTICAL DENSITY**

Telah berhasil dipertabankan 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 Sulistyono Nugroho M.Sc., Ph.D. ()

Penguji : Dr. Agus Sunjarianto Pamitan S.T., M.Eng. ()

Penguji : Ir. Agung Subagio, Dipl. Ing. ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Harinaldi M.Eng. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmat iman yang telah diberikan. Sholawat dan salam tak lupa penulis panjatkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW yang telah membawa kita kepada suatu risalah tauhid yang sempurna. Sehingga dengan rahmat dari Allah SWT, saya dapat menyelesaikan dengan baik skripsi yang berjudul:

PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI ASAP TIPE FOTOELEKTRIK BERBASIS *MICRO CONTROLLER* DAN APLIKASINYA DALAM PENGUKURAN *OPTICAL DENSITY*

Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari jika tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, akan sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu, atas tercapainya usaha dan kerja keras ini, penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, (Alm) H. Oscar Darmastiawan, SH dan Hj. Hairani, S.Pd, serta kakak, Farouk Yohansyah dan Amellia, yang telah dan memberikan sumbangan materi, seluruh kasih sayangnya, dan semangat sampai sekarang.
2. Pembimbing penulis, Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D, yang telah banyak menyediakan waktu luang, masukan, ide, saran, pengalaman, dan kritiknya kepada penulis yang mana bertujuan untuk membuat hasil dari penulisan skripsi ini menjadi baik dan benar.
3. Riset Utama UI tahun 2012 dengan peneliti utama Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D.
4. Seluruh Dosen FTUI, terkhususkan dosen-dosen di Departemen Teknik Mesin UI, dan Guru penulis mulai SD sampai SMA yang telah banyak

memberikan ilmu, dukungan, waktu diskusi, saran, dan kritiknya terhadap penulis.

5. Megawati, SKM yang telah menjadi sumber energi dan inspirasi serta sangat banyak membantu penulis baik dalam suka maupun duka.
6. Sumarlin H. Wibowo, Novika Ginanto, Yulian Mahendra, dan Harland F. Amin yang telah banyak membantu penulis dalam perancangan alat dan teman diskusi yang luar biasa.
7. Irvan J.P. dan Ikhwanul Kholis yang telah menjadi teman penulis mengerjakan skripsi hampir setiap malam di BP3 FTUI.
8. Keluarga besar Angkatan Kelima Kusmansa Pemali yang telah menjadi inspirasi besar penulis untuk terus maju dan menggapai mimpi selama berkuliah di Universitas Indonesia.
9. Keluarga besar Tim Robot UI yang telah menjadi keluarga kedua buat penulis dan berperan sangat besar dalam kemajuan ilmu dan teknologi serta menjadi gudang ilmu bagi penulis selama kurang lebih empat tahun terakhir.
10. Para staf DTM seperti Pak Syarif dan Mas Yasin yang telah membantu penulis dalam penelitian ini.
11. M. Agung Santoso dan Refaldo Fanther sebagai *partner* skripsi penulis yang telah banyak membantu.
12. Teman-teman satu Angkatan Mesin 2008 yang telah memberikan kontribusi tidak sedikit terhadap penulis.
13. Seluruh Keluarga Besar Universitas Indonesia yang telah banyak mendukung penulis

Akhir kata, penulis mohon maaf karena di dalam penulisan skripsi ini pasti akan ada kesalahan. Untuk itu, penulis berharap agar karya tulis ini akan sangat bermanfaat kedepannya bagi peneliti lain yang akan melanjutkan topik atau kegiatan yang sama pada penelitian yang selanjutnya.

Depok, 10 Juli 2012

Penulis

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

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

Nama : Tito Apriano

NPM : 0806330503

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 saya yang berjudul :

Perancangan Sistem Pendeteksi Asap Tipe Fotoelektrik Berbasis *Micro Controller* dan Aplikasinya dalam Pengukuran *Optical Density*

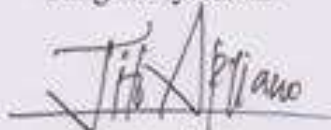
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Juli 2012

Yang menyatakan



(Tito Apriano)

ABSTRAK

Nama : Tito Apriano

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Perancangan Sistem Pendeteksi Asap Tipe Fotoelektrik Berbasis *Micro Controller* dan Aplikasinya dalam Pengukuran Optical Density

Sistem pendeteksi asap tipe fotoelektrik telah dikembangkan dalam penelitian ini. Sistem memanfaatkan sinar laser komersial sebagai sumber cahaya dan sensor cahaya photodiode sebagai *receiver*. Sebuah *micro controller* diaplikasikan untuk mengontrol sistem termasuk merekam data eksperimen.

Perbandingan intensitas awal dan intensitas asap yang diterima oleh sensor cahaya photodiode dipergunakan untuk mengukur nilai densitas optik dari asap. Untuk mendapatkan konsistensi di dalam pengukuran densitas optik, di dalam tahap pengembangannya, telah dilakukan kalibrasi menggunakan lima buah (5) lensa terkalibrasi dengan densitas optik yang berbeda.

Sistem pendeteksi asap yang telah dikembangkan kemudian diaplikasikan untuk mengukur densitas optik asap yang berasal dari pembakaran kertas dengan variasi massa dan volume ruang uji. Secara simultan juga dilakukan pengukuran jarak pandang tanda *EXIT* dengan ketebalan asap yang berbeda. Penelitian ini membuktikan bahwa terdapat hubungan yang positif antara densitas optik asap terukur dengan jarak pandang / visibilitas tanda *EXIT*.

Kata kunci: fotoelektrik, *micro controller*, densitas optik, kalibrasi, visibilitas

ABSTRACT

Name : Tito Apriano
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Design of photoelectric smoke detection system based on microcontroller and its application to optical density measurement

A photoelectric smoke detection system was developed in this work. The system utilised a commercial laser beam as a source light and photodiode light sensor as a receiver. A microcontroller was applied to control the system including the recording of the experimental data.

The ratio between initial intensity and smoke intensity received by photodiode light sensor was used to measure the value of smoke optical density. In order to get consistency in the measurement of optical density, the device has been calibrated using five (5) calibrated lens with different optical density.

The smoke detection system which has been developed was applied for measure smoke optical density from burning paper with mass and volume of chamber variation. Simultaneously, it's also applied to measure the visibility of EXIT sign with different optical density. This research proves that there is a positive relation between smoke optical density measured and the visibility of EXIT sign.

Keys word: photoelectric, micro controller, optical density, calibration, visibility

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penulisan	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 DASAR TEORI.....	6
2.1 Produksi dan Partikel Asap	6
2.2 Pergerakan Asap	10
2.3 Pengukuran Asap.....	11
2.4 Visibilitas.....	14
2.5 Sistem Sensor Tipe Fotoelektrik	16
2.5.1 Micro Controller Atmega16	16
2.5.2 Downloader K125R.....	18
2.5.3 Voltage Regulator LM2576.....	19
2.5.4 Sensor Cahaya Photodiode.....	19
2.5.4.1 Mode Operasi Photodiode	20
2.5.4.2 Karakteristik Bahan Photodiode.....	21
2.5.5 Sinar Laser.....	21

BAB 3 METODOLOGI PERANCANGAN DAN PENELITIAN.....	23
3.1 Tahapan Perancangan Alat.....	23
3.2 Tahapan Pengujian dan Kalibrasi Alat.....	26
3.3 Tahapan Pengukuran <i>Optical Density</i> Asap.....	28
3.4 Tahapan Percobaan dan Simulasi pada <i>Apparatus</i>	31
3.5 Tahapan Pengujian Pengaruh <i>Optical Density</i> Asap Terhadap <i>Visibility</i>	34
3.6 Metodologi Penelitian	36
 BAB 4 HASIL DAN ANALISIS	 37
4.1 Hasil dan Analisis Kalibrasi Alat Rancangan	37
4.2 Hasil dan Analisis Pengukuran <i>Optical Density</i> dengan Alat Rancangan	41
4.3 Hasil dan Analisis Perbandingan Pengukuran <i>Optical Density</i> Menggunakan Alat Rancangan dengan Simulasi <i>FDS</i> pada <i>Apparatus</i>	43
4.4 Hasil dan Analisis Pengaruh Perbedaan <i>Optical Density</i> Terhadap <i>Visibility</i> ..	44
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	 50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	51
 DAFTAR PUSTAKA	 52
 LAMPIRAN.....	 54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Perubahan Secara Fisik Bahan Bakar dari Fase Padat Hingga Uap (Drysdale, D.2003)	7
Gambar 2.2	Proses Pembentukan Molakul Asap dan Jelaga	8
Gambar 2.3	Transmission electron micrograph dari Partikel Asap	9
Gambar 2.4	Proses produksi dan pergerakan asap	10
Gambar 2.5	Gambaran cara kerja beam of light untuk mengukur optical density	11
Gambar 2.6	Hubungan antara visibilitas dengan <i>optical density</i> (koefisien absorpsi) hasil eksperimen di Jepang	14
Gambar 2.7	Hubungan visibilitas dengan <i>extinction coefficient</i> pada <i>light-emitting sign</i> dan <i>light-reflecting sign</i>	15
Gambar 2.8	<i>Micro controller</i> AT mega 16	16
Gambar 2.9	Konfigurasi ATmega16	17
Gambar 2.10	<i>Downloader</i> K125R	18
Gambar 2.11	Skematik LM2576	19
Gambar 2.12	<i>Voltage regulator</i> rancangan	19
Gambar 2.13	Sensor Cahaya Photodioda	19
Gambar 2.14	Laser Pointer	21
Gambar 3.1	Rangkaian skematik sensor cahaya photodioda	23
Gambar 3.2	Sensor cahaya hasil rancangan	23
Gambar 3.3	Rangkaian sensor cahaya hasil rancangan	24
Gambar 3.4	Rangkaian skematik untuk sumber cahaya (laser)	24
Gambar 3.5	Rangkaian sumber cahaya (sinar laser) hasil rancangan	24
Gambar 3.6	Baterai 12volt sebagai sumber tegangan	24
Gambar 3.7	<i>Regulator</i> 5volt	25
Gambar 3.8	Rangkaian sumber cahaya (sinar laser) dengan <i>regulator</i> 5volt dan baterai 12volt	25
Gambar 3.9	<i>Micro controller</i> ATmega16	25
Gambar 3.10	<i>Downloader</i> K125R	25
Gambar 3.11	Rangkaian sensor cahaya yang terhubung dengan <i>micro controller</i> dan <i>downloader</i> K125R	26

Gambar 3.12	Rangkaian sensor cahaya dan sumber cahaya yang digabungkan dengan <i>micro controller, downloader</i> K125R, dan <i>Personal Computer</i> (PC)	26
Gambar 3.13	Jarak antara sumber cahaya dengan sensor cahaya	26
Gambar 3.14	Tampilan Intensitas awal (I_0) di <i>Computer</i>	27
Gambar 3.15	Peletakan kaca tepat berada di depan sensor	27
Gambar 3.16	Nilai Intensitas setelah dipasang kaca (I)	27
Gambar 3.17	Kaca dengan <i>optical density</i> berbeda-beda	28
Gambar 3.18	Proses pengkalibrasian sensor menggunakan kaca dengan nilai <i>optical density</i> yang berbeda-beda	28
Gambar 3.19	Ruang uji tipe kedua dengan dimensi 3m x 0,33m x 0,18m	29
Gambar 3.20	Peletakan sumber cahaya (laser pointer) untuk jarak 1,5m	29
Gambar 3.21	Peletakan sensor cahaya dan sumber cahaya untuk jarak 0,33m	30
Gambar 3.22	Proses penghitungan massa kertas yang akan dibakar	30
Gambar 3.23	Proses pembakaran sedang terjadi dan pengukuran intensitas asap	31
Gambar 3.24	Proses penghitungan massa sisa hasil uji coba	31
Gambar 3.25	Instalasi sensor pada <i>apparatus</i>	32
Gambar 3.26	Intensitas awal (I_0) sensor	32
Gambar 3.27	Proses percobaan sedang berlangsung	32
Gambar 3.28	Intensitas yang terbaca dari setiap sensor	33
Gambar 3.29	<i>lay out mesh</i> yang digunakan	33
Gambar 3.30	Posisi peletakan burner dan sensor untuk mengukur <i>optical density</i>	34
Gambar 3.31	Instalasi peralatan sensor dan tanda <i>exit</i>	35
Gambar 3.32	Intensitas awal (I_0)	35
Gambar 3.33	Proses pengamatan tanda <i>exit</i>	36
Gambar 4.1	Grafik Perubahan I_0 terhadap waktu	38
Gambar 4.2	Grafik Hasil Kalibrasi laser pointer untuk jarak 1m	39
Gambar 4.3	Grafik hasil bacaan sensor dengan variasi jarak untuk tegangan input 5volt	40

Gambar 4.4	Hubungan antara Massa asap dengan <i>optical density</i> dengan $V_r = 0,089\text{m}^3$ dan $L=3\text{m}$	42
Gambar 4.5	Hubungan antara Massa asap dengan <i>optical density</i> dengan $V_r = 0,089\text{m}^3$ dan $L=1,5\text{m}$	42
Gambar 4.6	Hubungan antara Massa asap dengan <i>optical density</i> dengan $V_r=0,178\text{m}^3$ dan $L=0,33\text{m}$	42
Gambar 4.7	Perbandingan hasil simulasi (kiri) dan percobaan (kanan) pada detik ke-60, 120, dan 180	44
Gambar 4.8	Perubahan nilai <i>optical density</i> asap terhadap waktu hasil percobaan	45
Gambar 4.9	Perubahan nilai <i>optical density</i> asap terhadap waktu hasil simulasi <i>FDS</i>	46
Gambar 4.10	Parameter yang digunakan untuk mengamati pengaruh perubahan <i>optical density</i> asap (1-4) dan kondisi pengamatan tanpa asap (5)	48
Gambar 4.11	Hasil pengamatan tanda <i>exit</i> dengan nilai <i>optical density</i> berbeda-beda	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai <i>smoke conversion factor</i> untuk material kayu dan Plastik	13
Tabel 3.1	Posisi peralatan pengukuran <i>optical density</i>	34
Tabel 3.2	<i>Material properties</i> data masukan untuk simulasi FDS	34
Tabel 3.3	Parameter pengamatan tanda <i>exit</i>	36
Tabel 4.1	Hasil Kalibrasi Laser Pointer untuk jarak 1m	39
Tabel 4.2	Hasil kalibrasi laser pointer dengan tegangan input 5volt	40
Tabel 4.3	Nilai <i>smoke conversion factor</i> dari berbagai macam tipe kayu dan plastik	43
Tabel 4.4	Pengaruh <i>optical density</i> asap terhadap visibilitas	47
Tabel 4.5	Hasil pengamatan tanda <i>exit</i> dengan <i>optical density</i> berbeda-beda	47

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebakaran merupakan salah satu jenis bencana yang masih belum bisa diprediksi terjadinya. Secara nasional, kebakaran menyumbang 15% kejadian bencana di Indonesia. Berdasarkan data yang berhasil dihimpun oleh Damkar selama tahun 2011, ditemukan bahwa kebakaran paling sering terjadi di Jakarta yaitu sebanyak 890 kejadian. Jumlah tersebut meningkat bila dibandingkan dengan kejadian kebakaran pada tahun 2010, yakni sebanyak 684 kejadian. Sedangkan di kota-kota besar lainnya, seperti di Medan, kebakaran hanya terjadi sebanyak 163 kali, Surabaya 187 kejadian, Bandung 163 kali, Bekasi 127 kali, Depok 124 kali, dan Tangerang 167 kali (Sundari, 2012).

Secara umum, sebagian besar atau hampir 60% kebakaran di berbagai tempat disebabkan oleh faktor yang sama, yaitu terjadinya hubungan pendek arus listrik (korslet). Akan tetapi, tingginya angka kebakaran di Jakarta didukung oleh faktor lain seperti, padatnya pemukiman dan bahan bangunan yang digunakan penduduk sebagian besar terbuat dari material yang mudah terbakar. (Afrianti, Desy, dkk. 2012).

Asap merupakan salah satu produk hasil pembakaran dari suatu material yang berbahaya bagi manusia karena terdiri dari partikel-partikel uap dan gas serta unsur-unsur yang terurai yang dilepaskan oleh pembakaran suatu material.

Berdasarkan data statistik *National Bureau of Standards USA (1983)*, bahwa 74 % penyebab utama kematian penghuni bangunan pada peristiwa kebakaran diakibatkan oleh asap dan hanya 10 % akibat luka bakar (Rahman, N.Vinky. 2004). Dari data tersebut terbukti bahwa asap hasil kebakaran menimbulkan risiko yang tinggi terhadap bahaya kematian. Untuk itu diperlukan upaya dalam mengurangi penyebaran asap dan panas yang merupakan salah satu sumber bahaya pada peristiwa kebakaran.

Selain beracun, ketebalan asap juga dapat menurunkan tingkat visibilitas seseorang dan tentunya akan berpengaruh dalam kecepatan melakukan evakuasi selama kebakaran. Untuk itu, penulis melakukan penelitian untuk mengetahui batas aman dari *optical density* asap terhadap kemampuan penglihatan seseorang dalam melihat tanda darurat saat kebakaran terjadi sehingga evakuasi dapat berjalan dengan cepat dan lancar.

Adapun alat yang dirancang adalah *smoke detector* berbasis fotoelektrik yang merupakan alat pendeteksi asap dengan menggunakan prinsip perbedaan intensitas cahaya yang diterima oleh sensor cahaya untuk mendeteksi asap (Dharsono, Guruh, 2012). Di dalam detektor asap tipe fotoelektrik, terdapat suatu sumber dan sensor cahaya yang diatur sehingga sensor cahaya dapat tepat menerima cahaya yang dihasilkan oleh sumber cahaya. Jika alat ini dilewati oleh asap maka intensitas cahaya yang terbaca oleh sensor cahaya akan berubah. Semakin tebal asap maka semakin besar pula perubahan intensitas yang diterima oleh sensor cahaya. Dengan mengetahui perbandingan antara intensitas cahaya yang diterima oleh sensor cahaya maka kita dapat mendapatkan *optical density* dari asap.

Adapun *smoke detector* tipe fotoelektrik yang terdapat di Laboratorium Teknik Keselamatan Kebakaran Departemen Teknik Mesin, DIN 50055 *Smoke Density Photometric system*®, memiliki keterbatasan dimana jarak pengukuran yang bisa dilakukan hanya satu meter. Hal ini menyebabkan alat ini tidak bisa digunakan jika pengukuran dilakukan dengan jarak yang lebih besar lagi. Terlebih lagi alat ini harganya mahal dan belum terintegrasi dengan *Personal Computer*. Untuk itu penulis ingin merancang sistem pendeteksi asap tipe fotoelektrik harganya sangat terjangkau dengan bahan baku yang mudah didapat di pasaran. Adapun sensor cahaya yang digunakan adalah sensor photodiode sedangkan sumber cahaya yang digunakan adalah sinar laser yang berasal dari laser pointer yang biasa digunakan untuk presentasi. Sistem ini dikontrol oleh *micro controller* ATmega 16 dan mampu melakukan transfer data ke *Personal Computer* sehingga lebih mudah untuk memproses data. Selain itu jarak antara sumber cahaya dengan sensor cahaya bisa diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan percobaan.

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian yang dilakukan adalah merancang sistem sensor tipe fotoelektrik dengan menggunakan sensor cahaya photodiode berbasis *micro controller* dimana sumber cahayanya berasal dari sinar laser kelas 2 (*output* daya 1 mW). Selain itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keefektifan penggunaan sensor photodiode, laser pointer dan *micro controller* dalam mengukur opasitas partikel asap. Penelitian ini juga dilakukan untuk menghitung *smoke conversion factor* (ϵ) dari material yang diuji coba. Dan juga digunakan untuk mengetahui pengaruh dari perbedaan opasitas asap terhadap tingkat kemampuan dan jarak pandang seseorang.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Merancang sistem pendeteksi asap sederhana menggunakan sensor cahaya photodiode dan sinar laser sebagai sumber cahaya berbasis *micro controller* yang dapat dikomunikasikan dengan *Personal Computer* (PC).
2. Menguji dan mendapatkan standar penggunaan sensor pendeteksi asap sederhana berbasis *micro controller* hasil rancangan dengan cara melakukan kalibrasi. Hal yang dilakukan adalah mengukur perbandingan intensitas bacaan dari sensor cahaya menggunakan sejumlah kaca yang telah terkalibrasi dan memiliki ketebalan berbeda-beda
3. Membandingkan hasil percobaan dengan alat dengan hasil simulasi pada *apparatus*.
4. Menguji coba alat untuk mengukur *optical density* asap menggunakan sistem pendeteksi asap sederhana hasil rancangan untuk mendapatkan nilai *smoke conversion factor* (ϵ) dari material yang digunakan.
5. Mengetahui pengaruh dari ketebalan asap terhadap jarak pandang seseorang.

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Merancang dan membuat sistem pendeteksi asap sederhana dengan menggunakan sensor cahaya photodiode dan sumber cahaya sinar laser berbasis *micro controller*.

2. Sistem pendeteksi asap ini diaplikasikan untuk penelitian pengukuran *optical density* partikel asap dalam skala laboratorium.
3. Sistem pendeteksi asap ini menggunakan sinar laser kelas 2 (laser pointer dengan *output* daya 1 mW) sebagai sumber cahaya
4. Sistem pendeteksi asap ini menggunakan photodiode sebagai sensor cahaya yang menerima cahaya langsung dari sumber cahaya.
5. Setiap sensor photodiode yang digunakan masing-masing menggunakan satu sumber cahaya.
6. Karakteristik sistem yang diamati adalah membandingkan intensitas hasil bacaan sensor cahaya dengan kondisi tanpa asap dan saat adanya asap.
7. Untuk proses pengolahan data menggunakan software seperti *Fire Dynamics Simulator* Versi 5 (McGrattan, Kevin. 2007), *OriginPro* 8, *Microsoft Excel*, dan *Code Vision AVR C Compiler*

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, metode untuk mengumpulkan sumber data dan informasi adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur
Metode studi literatur ini dilakukan dengan mencari tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, jurnal-jurnal, skripsi dengan tema yang sama, serta referensi artikel yang terdapat di internet.
2. Perancangan sistem
Perancangan sistem sesuai dengan tujuan penelitian. Pada penelitian ini alat-alat seperti laser pointer, photodiode, *micro controller*, *PC*, dan lain-lain dirangkaikan sedemikian rupa sehingga membentuk sistem yang bisa digunakan dengan baik.
3. Pengujian sistem pendeteksi asap berbasis *micro controller*
Melakukan pengujian dan pengambilan data setelah sistem selesai dibuat. Pengambilan data dan pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur percobaan yang telah ditentukan sebelumnya.
4. Analisis dan kesimpulan hasil pengujian

Data yang diperoleh melalui percobaan diolah menggunakan *software OriginPro 8*. Langkah yang dilakukan kemudian adalah menganalisis grafik hasil pengolahan data.

5. Dari penganalisisan grafik hasil pengolahan data maka dapat di buat suatu kesimpulan akhir dari seluruh kegiatan penelitian, dimana kesimpulan yang dibuat mengacu pada tujuan penelitian ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian dibawah ini :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang penelitian, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan penelitian.

BAB 2 : DASAR TEORI

Pada bab ini diuraikan tentang dasar teori yang berkaitan dengan penelitian ini seperti : produksi asap, pergerakan asap, pengukuran asap, visibilitas, dan sistem pendeteksi asap tipe fotoelektrik.

BAB 3 : METODOLOGI PERANCANGAN DAN PENELITIAN

Pada bab ini berisi prosedur penelitian, daftar alat, dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

BAB 4 : HASIL DAN ANALISIS

Bab ini berisi data-data hasil penelitian dan kemudian dianalisis untuk dibandingkan dengan hasil dari studi literatur.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan akhir dan saran berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 PRODUKSI PARTIKEL ASAP

Asap merupakan produk dari suatu pembakaran material (bahan bakar). Banyaknya asap yang diproduksi sangat bergantung pada jenis bahan bakar dan jumlahnya. Asap secara penampilan dan strukturnya menghasilkan karbon dioksida, uap air, dan beberapa partikel lain hasil dari pembakaran yang tidak sempurna seperti: karbon monoksida, nitrogen, dan hidrogen.

Umumnya ada tiga jenis asap hasil dari pembakaran yaitu: *flaming*, *pyrolysis*, dan *smoldering* (Mulholland, GW.2002). *Flaming* yaitu asap yang dihasilkan dari api yang menyala, contohnya asap pada kompor minyak tanah dan pembakaran sampah. Asap yang dihasilkan berwarna hitam dan penuh dengan butiran karbon.

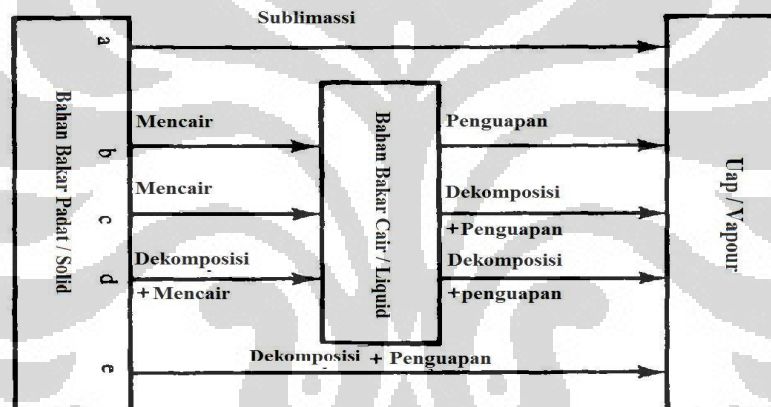
Asap *pyrolysis* merupakan asap yang dihasilkan dari proses pemanasan radiasi pada permukaan material tanpa adanya pencampuran dari oksigen yang merubah struktur kimia material berbentuk *volatile* atau uap bahan bakar sehingga asap yang dihasilkan tidak terlalu hitam. Suhu yang diaplikasikan terhadap permukaan material solid antara 600 sampai 700 K, sedangkan pada gas antara 1200 sampai 1700 K. Pada umumnya proses ini mengoksidasi produk hasil pembakaran dan struktur rantai material. Material yang biasanya mengalami proses ini adalah *prophylene*.

Sedangkan *smoldering*, yaitu proses pembakaran yang diakibatkan oleh kenaikan suhu atau *temperatur* pada permukaan material dan terjadinya reaksi antara uap material dan oksigen melalui efek konduksi atau konveksi. *Smoldering* juga menghasilkan butiran asap, namun butiran yang dihasilkan berwarna putih. Material yang dapat ber-*pyrolysis* dengan proses pembakaran seperti ini hanya sedikit, seperti: material selulosa (kayu, kertas, dan sigaret) dan *polyurethane* foam. Temperatur yang diaplikasikan pada pembakaran ini antara 600 sampai 1100 K.

Walaupun secara umumnya hasil pembakaran dari suatu bahan bakar adalah senyawa gas yang stabil dari CO₂ dan H₂O, pada kenyataannya hasil

dari pembakaran tersebut sangat jarang terjadi. Kalau pun terjadi, hanya akan terjadi pada pembakaran jenis *diffusion flame* sehingga hasil pembakaran memang menentukan hasil dari pembakaran dan jenis asap dari bahan bakar tersebut.

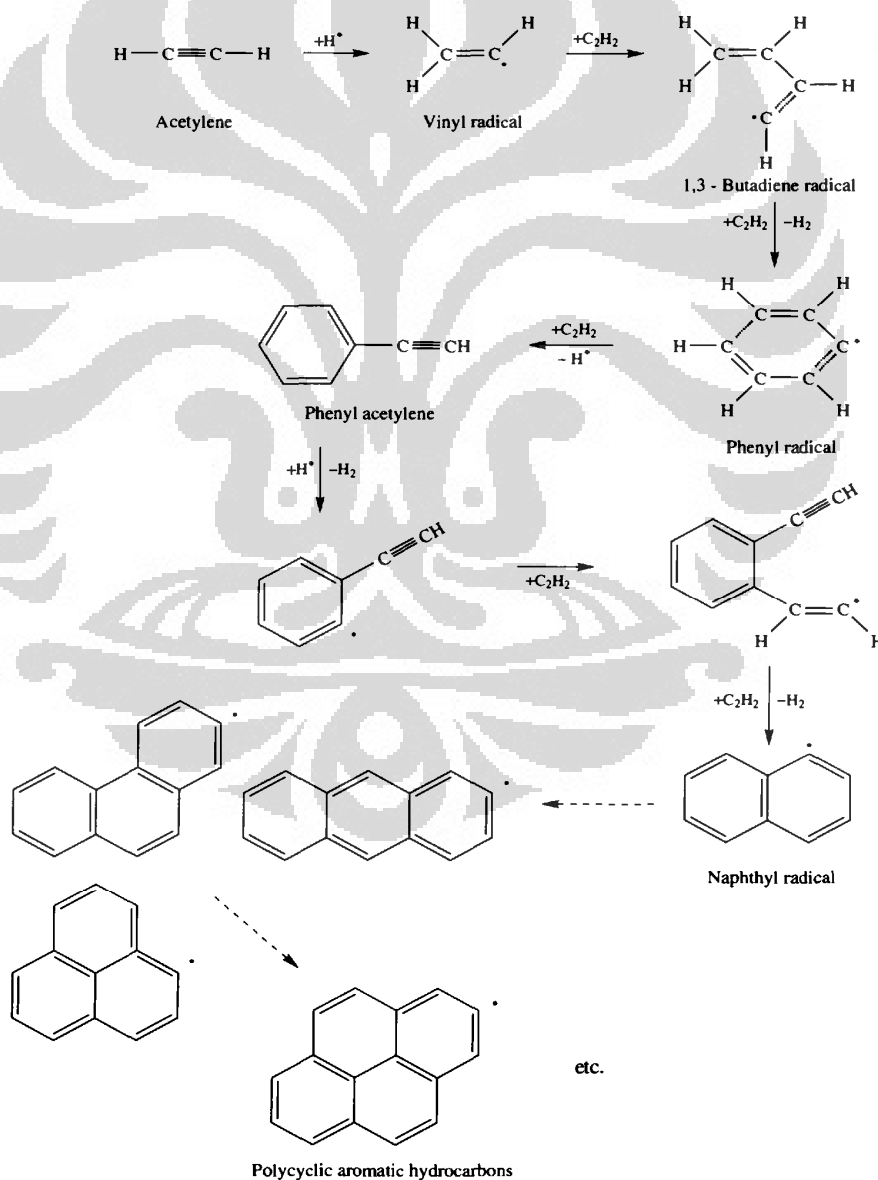
Untuk tiap proses pembakaran menghasilkan jenis jelaga asap yang berbeda-beda dan tingkat konsentrasi karbon yang berbeda juga. Sehingga berdasarkan analisis tersebut, proses terbakarnya suatu bahan bakar dari mulai solid hingga menjadi uap bahan bakar dapat diperkirakan seperti pada Gambar 2.1. Dari struktur ini, kita dapat membayangkan bahwa proses perubahan fisik material padat jauh lebih rumit ketika terjadinya proses pembakaran sehingga akan banyak kemungkinan jika asap hasil pembakaran sangat tidak sempurna.



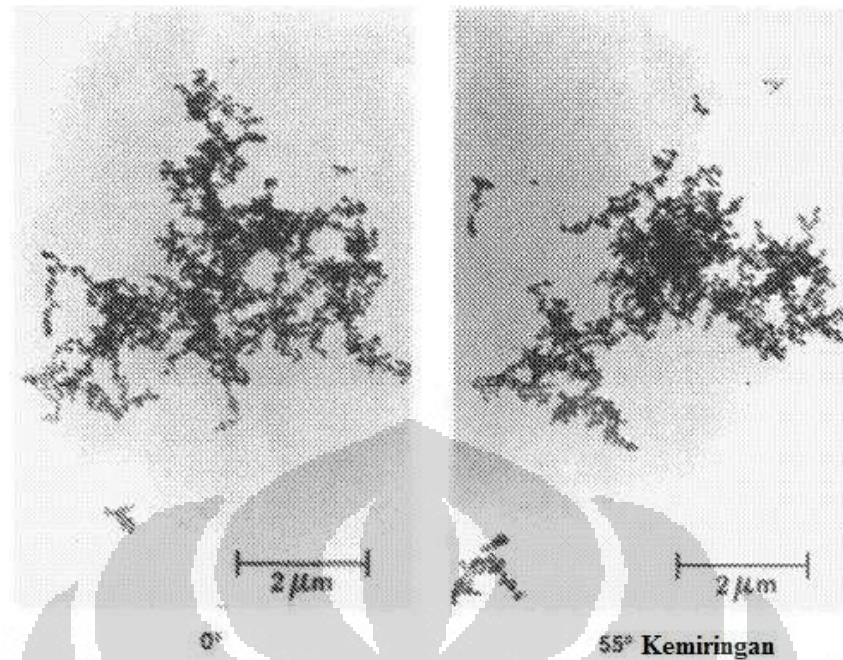
Gambar 2.1 Proses Perubahan Secara Fisik Bahan Bakar dari Fase Padat Hingga Uap (Drysdale, D.2003)

Pada proses perubahan fisik dari proses pembakaran bahan bakar padat, ketika konsentrasi oksigen mulai menurun maka dekomposisi dan perubahan bahan bakar ini akan semakin rumit seperti terbentuknya berbagai macam bentuk *volatile* (Drysdale, D.2003). Sebagai contohnya adalah proses terbentuknya *species* aromatik pada pembakaran *acetylene (ethyne)* atau benzena (C_6H_6). Benzena adalah induk semua jenis dari setiap *polycyclic hidrokarbon* yang hasil pembakarannya tumbuh untuk memproduksi sejumlah partikel dari jelaga di dalam *flame* (Drysdale, D.2003). Tahapan pembentukan sebuah asap dari sebuah asap dari molekul benzena dapat dilihat pada gambar 2.2. Semua reaksi ini bersifat *reversible* dan hasil dari produk tidak sempurna,

intermediate species, dari pembakaran benzena dapat beroksidasi walaupun inti atau *nucleus* (C_6H_6) sangatlah stabil pada suhu yang tinggi dan sulit untuk beroksidasi. Pada umumnya, *diffusion flame* mengeluarkan sedikit asap atau yang lebih dikenal dengan sebutan *minute particle* dengan ukuran partikel sebesar 10 – 100 nm. Tetapi jika suhu dan konsentrasi oksigen pada suatu api tidak cukup tinggi maka struktur molekul asap akan tumbuh dalam ukuran yang lebih besar dan menggumpal serta menjadi partikel berbahaya yang akan terlepas pada suhu lingkungan yang panas dari sebuah api yaitu ‘asap’. Partikel asap itu sendiri juga terdiri dari kumpulan penggumpalan *minute particle* yang berukuran sekitar 1 μm



Gambar 2.2 Proses Pembentukan Molakul Asap dan Jelaga (Drysdale, D.2003)

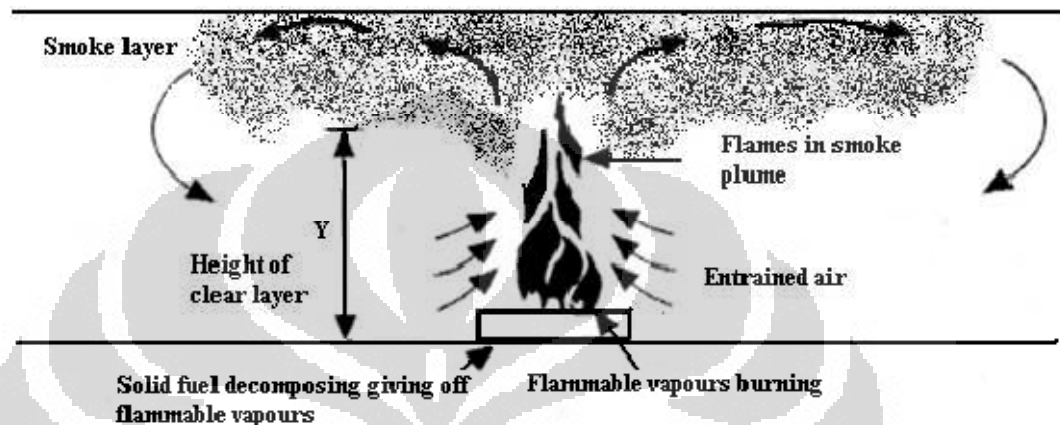


Gambar 2.3 Transmission electron micrograph dari partikel asap. Ukuran keseluruhan penggumpalan asap sekitar $6 \mu\text{m}$ dan diameter dari setiap bulatan partikel asap diperkirakan $0.03 \mu\text{m}$. Foto oleh Eric B Steel, Chemical science and Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology (Drysdale, D.2003)

Komposisi dan struktur kimia dari suatu bahan bakar sangatlah penting (Drysdale, D.2003). Bahan bakar murni dalam jumlah kecil, seperti karbon monoksida, *formaldehid*, *metaldehid*, *formic acid*, dan *methyl alcohol*, terbakar tanpa api yang bercahaya dan tidak memproduksi sebuah asap. Sedangkan bahan bakar lainnya, terbakar dengan kondisi tertentu, memberikan asap yang besar, bergantung pada kondisi alami dari struktur kimia bahan bakar tersebut. Bahan bakar yang memiliki struktur oksigen di dalamnya seperti *ethyl alcohol* dan *acetone* memberikan sedikit lebih banyak asap dari pada struktur hidrokarbon yang mereka punya. Sedangkan untuk hidrokarbon, ada deret geometri dalam kecenderungannya untuk memproduksi sebuah asap dengan partikel bercabang (n-alkana dan iso-alkana), hidrokarbon tak jenuh (alkana, alkena, dan alkuna), dan senyawa aromatik (alkana, aromatik, dan *polynuclear aromatic*).

2.2 PERGERAKAN ASAP

Pada suatu nyala api dalam suatu ruangan, terdapat suatu kolom gas asap panas yang terdapat di atas nyala api tersebut dengan densitas yang lebih rendah dari lingkungannya. Oleh karena itu, asap bergerak keatas dan membentuk cendawan sampai bagian atap dan menyebar secara horizontal ke berbagai arah.



Gambar 2.4 Proses produksi dan pergerakan asap

Asap adalah gas panas yang mengapung yang pada dasarnya adalah udara panas yang terkontaminasi dan merupakan salah satu produk pembakaran. Asap mengikuti hukum-hukum dasar mekanika fluida. Jumlah produksi asap dari suatu sumber api berbeda dalam setiap satuan waktu. Jumlah produksi asap bergantung dari ukuran dan panas nyala api yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran. Sedangkan massa jenis dan komposisi partikel atau racun yang terkandung dalam asap bergantung pada material dari bahan bakar (Gunawan S, Hendra. 2011).

Gaya *buoyancy* yang merupakan gaya apung yang sangat berpengaruh pada penyebaran asap dalam ruangan. Gaya apung yang terjadi pada asap berkaitan langsung dengan konveksi alamiah. Dalam suatu sistem, apabila terdapat dua jenis fluida yang berdekatan di mana terjadi perbedaan massa jenis antara kedua fluida tersebut maka gaya apung akan menyebabkan fluida dengan massa jenis yang lebih rendah mengapung pada keadaan lingkungan sekitarnya di mana terdapat fluida yang memiliki massa jenis yang lebih besar.

Asap merupakan fluida yang bergerak di mana akan selalu berubah bentuk ketika diberikan suatu tegangan geser. Tegangan geser atau gaya yang mempengaruhi pergerakan asap hasil pembakaran merupakan gaya yang

dihasilkan oleh gradien tekanan disekitar asap. Gradien tekanan ini disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur antara asap dengan lingkungannya. Penyebaran atau gerakan asap dalam suatu ruangan dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah :

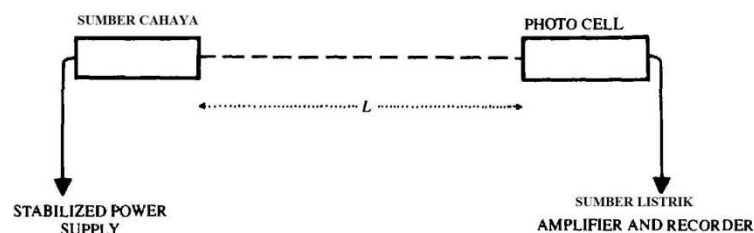
1. Gaya apung (*buoyancy*) yang dihasilkan oleh api
2. Banyaknya ventilasi pada ruangan sehingga berpengaruh pada volume udara yang dapat masuk atau keluar ruangan.
3. Gaya apung (*buoyancy*) yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur *ambient* internal ruangan dengan eksternal ruangan
4. Sistem tata udara dalam ruangan tersebut

2.3 PENGUKURAN ASAP

Ada beberapa metode dalam mengukur partikulat asap dari material yang terbakar dan dapat memungkinkan untuk memilih metode sebagai berikut:

- a) Menyaring asap dan menentukan berat dari material (hanya cocok untuk pengujian skala kecil)
- b) Mengumpulkan asap pada volume yang sudah diketahui dan menentukan *optical density*-nya (untuk skala kecil dan menengah)
- c) Membiarkan asap untuk mengalir sepanjang pipa, dan mengukur *optical density*-nya dimana penyumbatan aliran sudah ditetapkan dan menyatu dalam satu perangkat tersebut untuk mengukur total partikulat asap

Diantara ketiga metode tersebut, metode yang paling memungkinkan dalam eksperimen ini adalah metode pada poin (b). *Optical density* dapat ditentukan dengan pengukuran melalui *beam of light* yang melewati asap (Gambar2.5)



Gambar 2.5 Gambaran cara kerja beam of light untuk mengukur optical density (Drysdale, D.2003)

Pada Gambar 2.5, *beam of light* atau sumber cahaya menembakkan cahaya ke *foto cell* dengan jarak L . Jika pada saat pengaktifan *beam of light* tidak ada asap yang terukur, intensitas yang diterima oleh *recorder* akan bernilai I_o atau nilai intensitas awal. Pada saat asap melewati sinar dari sumber cahaya, intensitas yang terukur akan bernilai I_x sebagai intensitas yang berkurang dari intensitas awal. Hubungan kedua nilai intensitas ini dijelaskan melalui hukum Bouger (Mulholland, GW. 2002):

$$I_x = I_o \exp(-KL) \quad (2.1)$$

Di mana K adalah koefisien absorpsi dengan satuan m^{-1} dan L adalah jarak sumber cahaya dan *foto cell*. Untuk nilai *optical density* atau OD dengan satuan (1/m) dicari melalui persamaan (Mulholland, GW. 2002):

$$OD = \log_{10} \left(\frac{I_o}{I_x} \right) = KL \quad (2.2)$$

Besarnya nilai transmisi cahaya diperoleh dari perbandingan intensitas asap yang terukur dan intensitas awal pada persamaan:

$$T = \frac{I_x}{I_o} = 1 - \frac{N}{100} \quad (2.3)$$

Di mana T adalah besar nilai transmisi cahaya yang diterima oleh *photo cell* dengan satuan persentase (%) dan N adalah persentase opasitas yang terukur pada *photo cell* (%). Sehingga dari hubungan persamaan (2.1) dan (2.2) dapat disubstitusikan ke persamaan (2.3), sehingga didapatkan persamaan baru:

$$T = \exp(-OD) \quad (2.4)$$

Dengan demikian, nilai *optical density* berhubungan secara linier dengan nilai transmisi melalui persamaan:

$$OD = \log_{10} \left(\frac{1}{T} \right) \quad (2.5)$$

Dengan mendapatkan nilai koefisien absorpsi pada persamaan 2.1 dan 2.2, konsentrasi masa asap yang terukur didapat dengan menggunakan persamaan:

$$m = \frac{K}{K_m} \quad (2.6)$$

Di mana K_m adalah *specific extinction coefecient* dengan satuan m^2g^{-1} . Adapun nilai *specific extinction coefficient* adalah $8,7 \text{ m}^2\text{gr}^{-1}$ (Geiman, JA. 2003). Dengan demikian, masa asap dalam satuan gram dapat dicari melalui hubungan konsentrasi masa asap melalui persamaan:

$$M_s = V_r \times m \quad (2.7)$$

Dengan V_r adalah volume ruangan di mana asap tertampung pada suatu ruang dalam satuan m^3 . Maka dengan mendapatkan nilai masa asap, didapat nilai *smoke conversion factor* (g/g) dari persamaan (Mulholland, GW. 2002)

$$\varepsilon = M_s/M_b \quad (2.8)$$

Sedangkan M_b adalah masa bahan bakar yang terbakar dengan satuan gram.

Tabel 2.1 Nilai *smoke conversion factor* untuk material kayu dan plastik

Type	Smoke Conversion Factor, ε	Combustion Conditions	Fuel Area, m^2
Douglas fir	0.03–0.17	Pyrolysis	0.005
Douglas fir	< 0.01–0.025	Flaming	0.005
Hardboard	0.0004–0.001	Flaming ^a	0.0005
Fiberboard	0.005–0.01	Flaming ^a	0.0005
Polyvinylchloride	0.03–0.12	Pyrolysis	0.005
Polyvinylchloride	0.12	Flaming	0.005
Polyurethane (flexible)	0.07–0.15	Pyrolysis	0.005
Polyurethane (flexible)	< 0.01–0.035	Flaming	0.005
Polyurethane (rigid)	0.06–0.19	Pyrolysis	0.005
Polyurethane (rigid)	0.09	Flaming	0.005
Polystyrene	0.17 ($m_{\text{O}_2} = 0.30$) ^b	Flaming	0.0005
Polystyrene	0.15 ($m_{\text{O}_2} = 0.23$)	Flaming	0.07
Polypropylene	0.12	Pyrolysis	0.005
Polypropylene	0.016	Flaming	0.005
Polypropylene	0.08 ($m_{\text{O}_2} = 0.23$)	Flaming	0.007
Polypropylene	0.10 ($m_{\text{O}_2} = 0.23$)	Flaming	0.07
Polymethylmethacrylate	0.02 ($m_{\text{O}_2} = 0.23$)	Flaming	0.07
Polyoxymethylene	~0	Flaming	0.007
Cellulosic insulation	0.01–0.12	Smoldering	0.02

^aSample smoldered for a period of time after the pilot flame was extinguished.

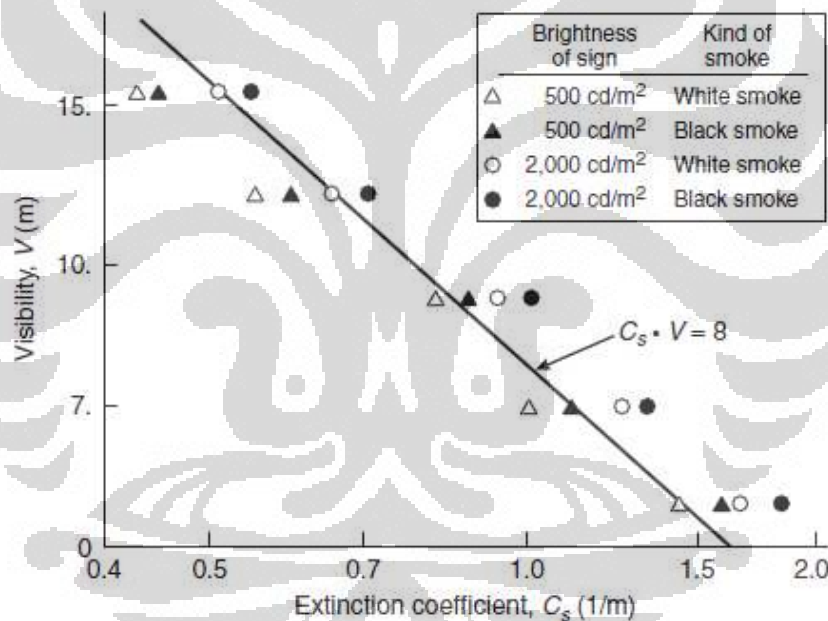
^b m_{O_2} refers to mol fraction of O_2 .

2.4 VISIBILITAS

Karakteristik asap api (komposisi, bentuk, dan ukuran partikel) tergantung pada material yang terbakar dan kondisi pembakaran. Karakteristik ini juga sangat tergantung pada aliran di sekeliling dan suhu sekitar serta bervariasi dengan waktu. Gambar 2.6 menunjukkan hubungan antara visibilitas dan *optical density* dengan representasi koefisien absorpsi yang diperoleh dari uji coba di Jepang (Jin, Tadahisa. 2002).

Ada dua alasan untuk pengaruh penurunan visibilitas karena asap:

1. *Luminous flux* dari tanda *exit* terganggu oleh partikel asap dan mengurangi intensitasnya ketika mencapai mata subjek
2. *Luminous flux* dari tanda *exit* tersebar dengan pencahayaan koridor atau ruang oleh partikel asap



Gambar 2.6 Hubungan antara visibilitas dengan *optical density* (koefisien absorpsi) hasil eksperimen di Jepang

Mata manusia dapat membedakan tanda dari latar di dalam asap hanya ketika perbedaan intensitas antara fluks dari tanda *exit* (B_e) dan dari latar (B_b) lebih besar dari nilai ambang batas (δ_c). Nilai kontras ambang tanda *exit* bervariasi tergantung pada intensitas fluks cahaya dari latar belakang dan sifat asap

$$\left| \frac{B_e - B_b}{B_b} \right| \geq \delta_c \quad (2.9)$$

Pengembangan model matematis visibilitas berdasarkan parameter fisik telah menarik minat beberapa peneliti, tetapi sangat rumit dan cenderung penggunaan praktis kecil. Sebuah model visibilitas sederhana untuk tanda *exit* yang terlihat melalui asap api diusulkan oleh Jin sebagai persamaan:

$$V \approx \frac{1}{C_s} \left(\frac{B_{EO}}{\delta_c k L} \right) \quad (2.10)$$

Keterangan:

V = visibilitas tanda *exit* (m)

C_s = *extinction coefficient* (m^{-1})

B_{EO} = kecerahan tanda *exit* (cdm^{-2})

δ_c = *contras threshold of signs* (0,01~0,05)

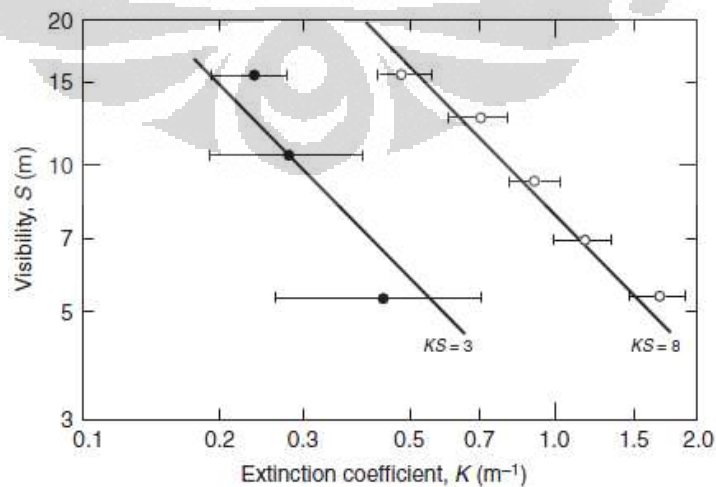
k = σ_s/C_s (0,4~1) dengan σ_s adalah *scattering coefficient*

L = $1/\pi$ pencahayaan rata-rata dari penerangan cahaya dari seluruh arah di dalam asap (m.m^{-2})

Namun demikian, hubungan yang adil antara visibilitas subjek tes dan koefisien absorpsi asap telah diperoleh dalam studi ekstensif oleh Jin. Visibilitas tanda *exit* yang memancarkan cahaya ditemukan dua sampai empat kali lebih besar dari yang memantulkan cahaya. Ungkapan berikut ditemukan dengan korelasi :

$$KS = 8 (\text{Light-emitting sign}) \quad (2.11)$$

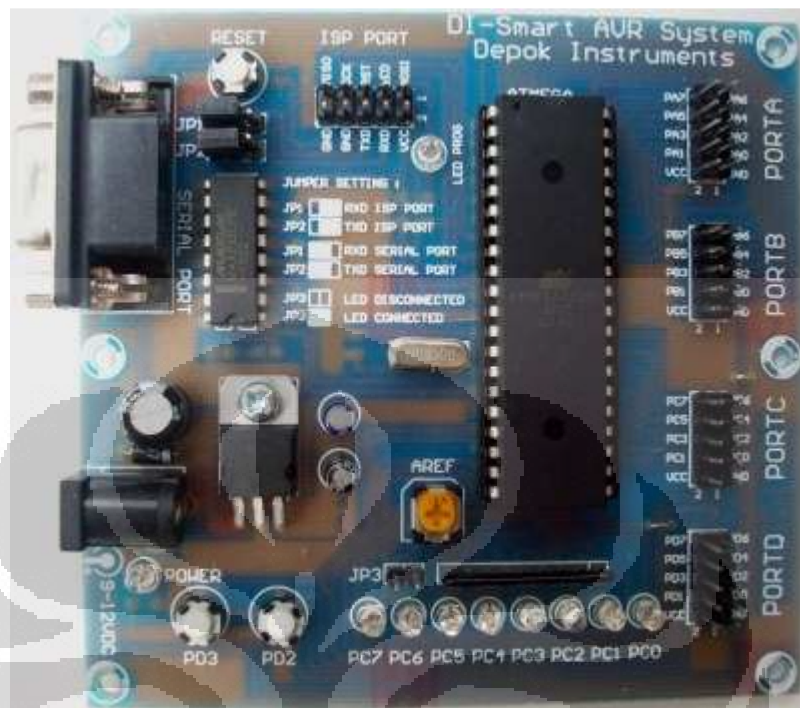
$$KS = 3 (\text{Light-reflecting sign}) \quad (2.12)$$



Gambar 2.7 Hubungan visibilitas dengan *extinction coefficient* pada *light-emitting sign* dan *light-reflecting sign*

2.5 SISTEM SENSOR TIPE FOTOELEKTRIK

2.5.1 MICRO CONTROLLER



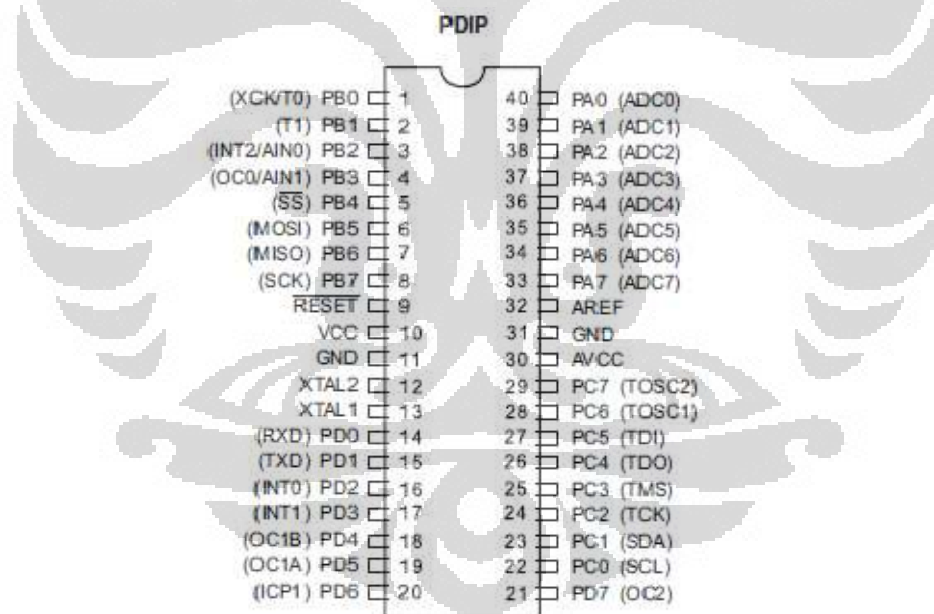
Gambar 2.8 *micro controller ATmega16*

Micro controller adalah salah satu bagian dasar dari suatu sistem komputer. Meskipun mempunyai bentuk yang jauh lebih kecil dari suatu komputer pribadi, *micro controller* dibangun dari elemen-elemen dasar yang sama. Secara sederhana, komputer akan menghasilkan keluaran spesifik berdasarkan masukan yang diterima dan program yang dikerjakan. Seperti umumnya komputer, *micro controller* adalah alat yang mengerjakan instruksi- instruksi yang diberikan kepadanya. Artinya, bagian terpenting dan utama dari suatu sistem terkomputerisasi adalah program itu sendiri yang dibuat oleh seorang *programmer*. Program ini menginstruksikan komputer untuk melakukan jalinan yang panjang dari aksi-aksi sederhana untuk melakukan tugas yang lebih kompleks (Gunawan, Eric. 2012)

Micro controller adalah suatu chip dengan tingkat kesulitan yang sangat tinggi, dimana semua bagian yang diperlukan untuk suatu kontroler sudah dikemas dalam satu keping, biasanya terdiri

dari CPU (*Central Processing Unit*), RAM (*Random Access Memory*), EEPROM/EPROM/PROM/ROM, I/O, *Timer*, dan lain sebagainya. Rata-rata *micro controller* memiliki instruksi manipulasi bit, akses ke I/O secara langsung dan mudah, dan proses interupsi yang cepat dan efisien.

Micro controller sekarang ini sudah banyak dapat kita temui dalam berbagai peralatan elektronik, misalnya peralatan yang terdapat di rumah, seperti telepon digital, *microwave oven*, televisi, dan masih banyak lagi. *Micro controller* juga dapat kita gunakan untuk berbagai aplikasi misalnya untuk pengendalian suatu alat, otomasi dalam industri, dan lain-lain. Keuntungan menggunakan *micro controller* adalah harganya murah, dapat diprogram berulang kali, dan dapat diprogram sesuai dengan keinginan kita.



Gambar 2.9 Konfigurasi ATmega 16

Konfigurasi pin ATmega16 (ATMEL.2010) dengan kemasan 40 pin DIP (*Dual In-line Package*) dapat dilihat pada Gambar 2.9. Dari gambar di atas dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing pin ATmega16 sebagai berikut:

1. Vcc merupakan pin yang berfungsi sebagai masukan catu daya.

2. GND merupakan pin *Ground*
3. Port A (PA0...7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin masukan ADC.
4. Port B (PB0...7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin dengan fungsi khusus seperti SPI, MISO, MOSI, SS, AIN1/OC0, AIN0/INT2, T1, T0 T1/XCK
5. Port C (PC0...7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin dengan fungsi khusus, seperti TOSC2, TOSC1, TDI, TD0, TMS, TCK, SDA, SCL
6. Port D (PD0...7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin dengan fungsi khusus, seperti RXD, TXD, INT0, INT1, OC1B, OC1A, ICP1
7. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset *micro controller*.
8. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock* eksternal
9. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC
10. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC

2.5.2 DOWNLOADER K125R

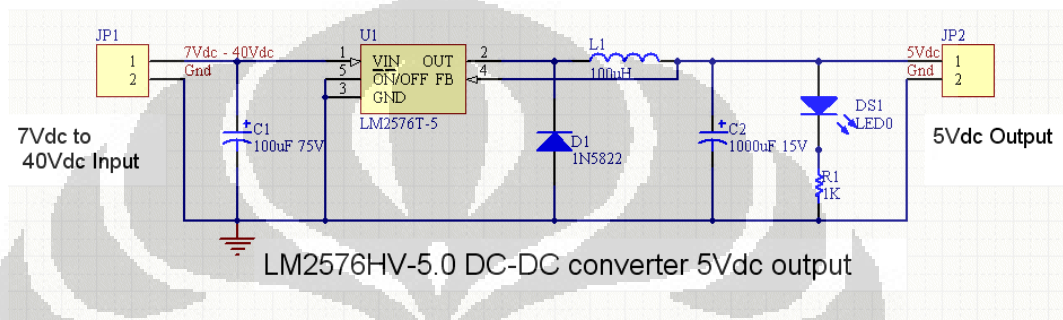
Downloader K125R merupakan suatu perangkat elektronik yang digunakan sebagai penghubung antara *personal computer* dengan *micro controller*. Awalnya kode perintah/tugas dibuat di komputer kemudian dimasukkan ke dalam *micro controller* melalui perantara perangkat ini. Disamping itu, perangkat ini juga digunakan untuk mentransfer data hasil bacaan sensor ke dalam komputer karena perangkat ini juga dilengkapi dengan serial USART.



Gambar 2.10 Downloader K125R

2.5.3 VOLTAGE REGULATOR LM2576

Tegangan input yang dibutuhkan untuk laser pointer adalah 5volt sedangkan tegangan baterai yang digunakan adalah 12volt. Untuk itu diperlukan *voltage regulator* yang merupakan perangkat elektronik untuk mengubah tegangan input 12volt (baterai) menjadi 5volt. *Device* yang digunakan adalah LM2576. Gambar dibawah ini menunjukkan skematik rangkaian dan hasil rancangan *voltage regulator* LM2576.



Gambar 2.11 Skematik LM2576



Gambar 2.12 Voltage regulator rancangan

2.5.4 SENSOR CAHAYA PHOTODIODA



Gambar 2.13 Sensor cahaya *photodioda*

Photodioda merupakan piranti semikonduktor dengan struktur sambungan p-n yang dirancang untuk beroperasi bila

dibiarkan dalam keadaan terbalik, untuk mendeteksi cahaya (Pandiangan, Johannes. 2007).

Ketika energi cahaya dengan panjang gelombang yang benar jatuh pada sambungan photodiode, arus mengalir dalam sirkuit eksternal. Komponen ini kemudian akan bekerja sebagai generator arus, yang arusnya sebanding dengan intensitas cahaya itu. Cahaya diserap di daerah penyambungan atau daerah intrinsik menimbulkan pasangan elektron-hole yang mengalami perubahan karakteristik listrik ketika energi cahaya melepaskan pembawa muatan dalam bahan itu, sehingga menyebabkan berubahnya konduktivitas. Hal inilah yang menyebabkan photodiode dapat menghasilkan tegangan/arus listrik jika terkena cahaya.

Photodiode digunakan dalam aplikasi – aplikasi yang meliputi kartu bacaan, kontrol cahaya *ambient* dan layar proyektor. Pada photodiode kita mengenal istilah responsivitas yaitu kemampuan dari sebuah photodiode untuk menambah arus bias mundur sebagai hasil dari sebuah penambahan pada cahaya. Responsivitas dari photodiode merupakan perbandingan dalam mA/mW pada panjang gelombang tertentu photodiode honeywell SE3452 mempunyai perbandingan 0.5mA/mW. Jika cahaya yang teradiasi pada cell 2 mV, diode akan menghasilkan arus yang mengalir sebesar 1 mA ($0,5\text{mA/mW} \times 2 \text{ mV}$). Respon tertinggi dari SE3452 sekitar 820nm.

2.5.4.1 Mode Operasi Photodiode

Photodiode dapat dioperasikan dalam 2 mode yang berbeda:

1. Mode fotovoltaik: seperti solar sel, penyerapan pada photodiode menghasilkan tegangan yang dapat diukur. Bagaimanapun, tegangan yang dihasilkan dari energi cahaya ini sedikit tidak linier, dan range perubahannya sangat kecil.
2. Mode potokonduktivitas: disini photodiode diaplikasikan sebagai tegangan reverse (tegangan balik) dari sebuah diode (yaitu tegangan pada arah tersebut pada diode tidak akan

dihantarkan tanpa terkena cahaya) dan pengukuran menghasilkan arus foto (hal ini juga bagus untuk mengaplikasikan tegangan mendekati nol). Ketergantungan arus foto pada kekuatan cahaya dapat sangat linier.

2.5.4.2 Karakteristik Bahan Photodioda

1. Silikon (Si) : arus lemah saat gelap, kecepatan tinggi, sensitivitas yang bagus antara 400 nm sampai 1000 nm (terbaik antara 800 sampai 900 nm).
2. Germanium (Ge): arus tinggi saat gelap, kecepatan lambat, sensitivitas baik antara 600 nm sampai 1800 nm (terbaik 1400 sampai 1500 nm).
3. Indium Gallium Arsenida (InGaAs): mahal, arus kecil saat gelap, kecepatan tinggi sensitivitas baik pada jarak 800 sampai 1700nm (terbaik antara 1300 sampai 1600nm).

2.5.5 SINAR LASER



Gambar 2.14 *Laser Pointer*

Laser merupakan singkatan dari *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, yang artinya penguatan cahaya dengan rangsangan pancaran radiasi. Sifat yang terjadi akibat kesamaan frekuensi adalah monokromatis dan sifat yang terjadi akibat kesamaan fase adalah koherensi. Jadi, syarat terbentuknya laser adalah sumber cahaya yang monokromatis dan koheren

Laser mempunyai sifat-sifat yang tidak dimiliki oleh sumber cahaya lain. Sifat-sifat khas laser antara lain kesearahan, intensitas, monokromatis, dan koherensi (Setyaningsih, Agustina. 2006).

Klasifikasi sinar laser secara internasional, yang diuraikan dalam standar konsensus seperti IEC 825, tergantung pada panjang gelombang dan apakah digunakan kontinu atau tidak (Tempo.co. 2012). Adapun klasifikasinya adalah sebagai berikut:

Kelas I

Aman, tidak ada kemungkinan kerusakan mata. Karena daya output laser yang rendah. Biasa digunakan dalam CD player atau printer.

Kelas II

Jika terpapar laser ini mata akan *refleks* berkedip. Output daya bisa mencapai dengan 1 mW. Beberapa laser pointer yang biasa digunakan dalam presentasi masuk kategori ini.

Kelas II a

Laser berkekuatan rendah. Perlu lebih dari 1.000 detik melihat terus-menerus untuk bisa membakar ke retina. Laser *scanner* masuk dalam kategori ini.

Kelas III a

Laser ini kebanyakan berbahaya. Output daya tidak mencapai 5 mW. Banyak digunakan untuk senjata api.

Kelas III b

Laser di kelas ini dapat menyebabkan kerusakan mata permanen jika terpapar langsung. Outputnya mencapai 500 mW. Laser ini juga bisa membakar kulit taraf ringan. Laser pointer dengan output 300 mW warna hijau ada dalam kategori ini.

Kelas IV

Laser di kelas ini memiliki kekuasaan keluaran lebih dari 500 mW dan dapat menyebabkan kerusakan permanen pada mata atau kulit. Biasa digunakan untuk hiburan, industri, militer, dan laser medis.

BAB 3

METODOLOGI PERANCANGAN DAN PENELITIAN

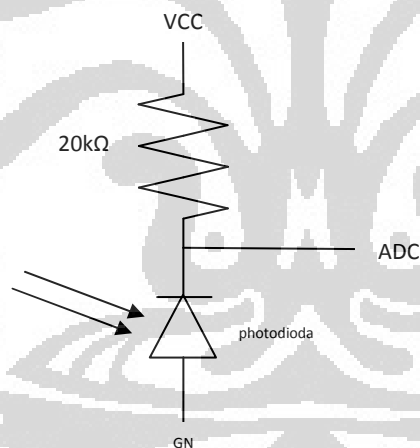
Sebelum melakukan penelitian dan pengujian, sebelumnya harus melalui beberapa tahapan-tahapan yang bertujuan agar hasil penelitian dan pengujian tersebut sesuai dengan standar yang ada. Caranya adalah dengan menerapkan prosedur yang sama dan konsisten, sehingga hasil yang didapatkan bisa dipertanggungjawabkan atau valid. Ada beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu tahap perancangan alat, tahap pengujian dan kalibrasi alat, tahap pengukuran *optical density*, tahap percobaan dan simulasi pada *apparatus*, dan tahap pengujian pengaruh *optical density* terhadap *visibility*.

3.1 TAHAPAN PERANCANGAN ALAT

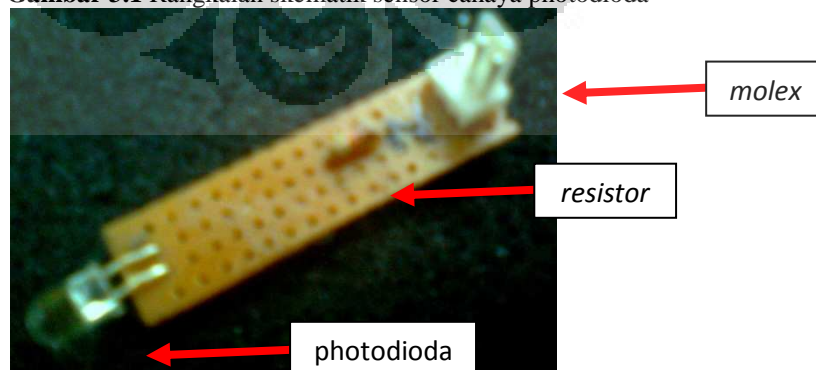
3.1.1 Merangkai sistem elektrik sensor cahaya (photodiode),

Rangkaian sensor cahaya (photodiode) terdiri dari:

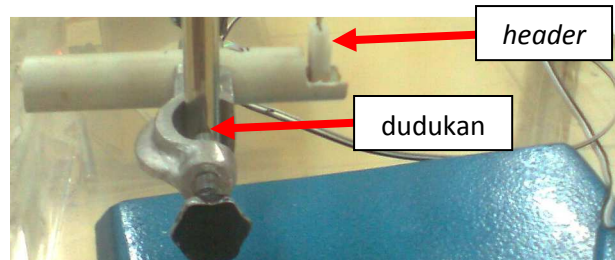
1. Satu buah photodiode
2. Satu buah resistor dengan nilai hambatan $20k\Omega$
3. Papan *printed circuit board (pcb)* sebagai dudukan secukupnya
4. Satu buah *Molex* dan *header*



Gambar 3.1 Rangkaian skematik sensor cahaya photodiode



Gambar 3.2 Sensor cahaya hasil rancangan

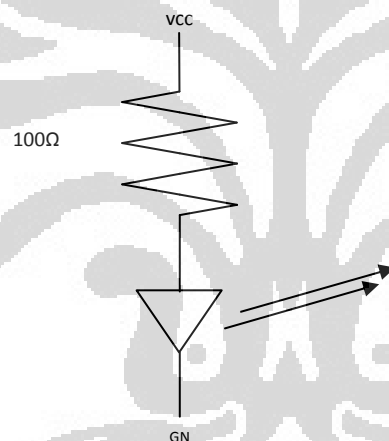


Gambar 3.3 Rangkaian sensor cahaya hasil rancangan

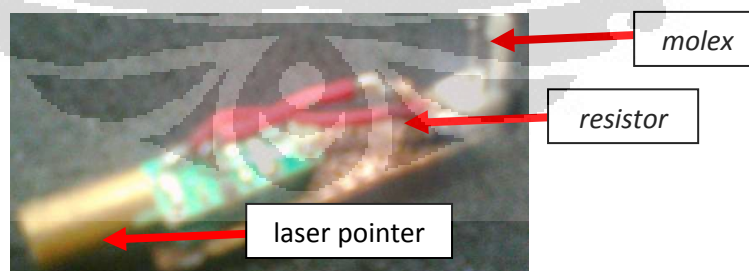
3.1.2 Merangkai sistem elektrik laser pointer

Rangkaian sinar laser terdiri dari:

1. Satu buah laser pointer
2. Satu buah resistor dengan nilai hambatan 100Ω
3. Papan *printed circuit board (pcb)* sebagai dudukan laser pointer secukupnya
4. Satu buah *Molex* dan *header*
5. Baterai 12volt sebagai sumber tegangan dari sumber cahaya
6. *Regulator 5volt* untuk mengkonversi tegangan baterai sehingga sesuai dengan tegangan *input* laser pointer



Gambar 3.4 Rangkaian skematik untuk sumber cahaya (laser)



Gambar 3.5 Rangkaian sumber cahaya (sinar laser) hasil rancangan



Gambar 3.6 Baterai 12volt sebagai sumber tegangan



Gambar 3.7 Regulator 5volt

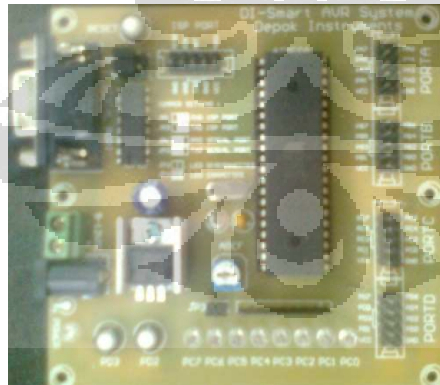


Gambar 3.8 Rangkaian sumber cahaya (sinar laser) dengan *regulator* 5volt dan baterai 12volt

3.1.3 Menggabungkan rangkaian elektrik sensor cahaya (photodiode) dan laser pointer dengan *micro controller* dan *Personal Computer* (PC) menjadi satu sistem pendeteksi asap

Rangkaian sistem pendeteksi asap terdiri dari:

1. Satu buah atau lebih rangkaian sensor cahaya (photodiode)
2. Satu buah atau lebih rangkaian sinar laser
3. Satu buah *micro controller* ATmega16



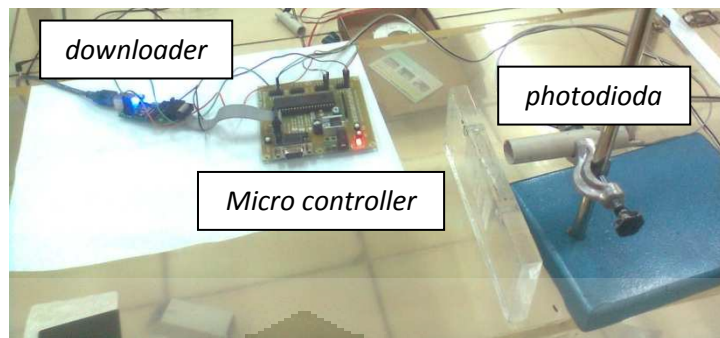
Gambar 3.9 *Micro controller* ATmega16

4. *Downloader/Programmer* K125R

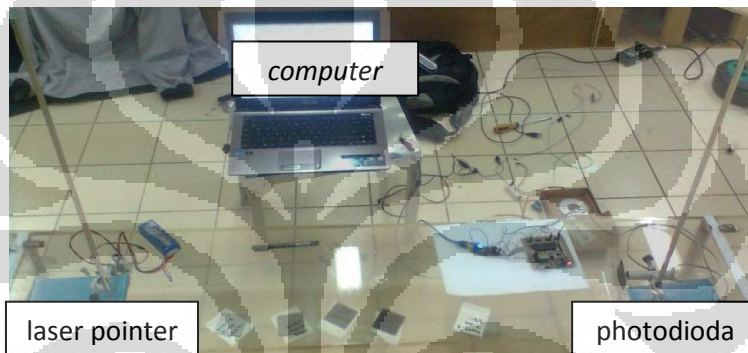


Gambar 3.10 *Downloader* K125R

5. Satu buah *Personal Computer* (PC)
6. Kabel penghubung secukupnya



Gambar 3.11 Rangkaian sensor cahaya yang terhubung dengan *micro controller* dan *downloader K125R*.

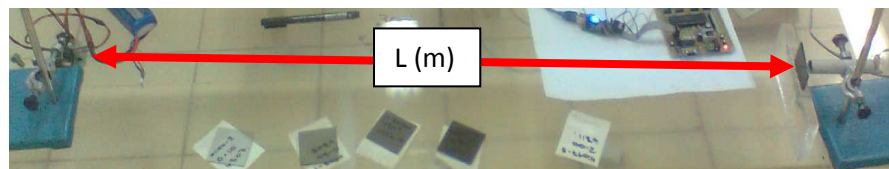


Gambar 3.12 Rangkaian sensor cahaya dan sumber cahaya yang digabungkan dengan *micro controller*, *downloader K125R*, dan *Personal Computer (PC)*.

3.2 TAHAPAN PENGUJIAN DAN KALIBRASIAN ALAT

- 3.2.1 Mengatur posisi dan jarak antara sensor cahaya (photodiode) dengan sinar laser

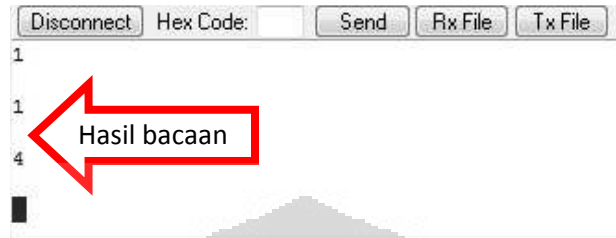
Posisi yang tepat adalah sinar yang dihasilkan oleh laser harus jatuh tepat di sensor cahaya (photodiode). Sedangkan jarak antara sensor cahaya dengan photodiode dengan sumber cahaya (sinar laser) harus selalu sama untuk setiap pengujian dengan kaca yang berbeda-beda. Hal ini dilakukan agar didapatkan hasil kalibrasi yang benar. Jarak yang digunakan dalam pengujian ini adalah 1m s.d. 5m.



Gambar 3.13 Jarak antara sumber cahaya dengan sensor cahaya

3.2.2 Mengukur intensitas cahaya (I_0)

Intensitas cahaya awal yang masuk ke dalam sensor cahaya diperlukan untuk digunakan sebagai pembanding. Intensitas ini dianggap sebagai intensitas tanpa adanya asap/kaca (I_0).



Gambar 3.14 Tampilan Intensitas awal (I_0) di *Computer*

3.2.3 Meletakkan kaca dengan nilai *density* tertentu di depan sensor cahaya (photodioda)

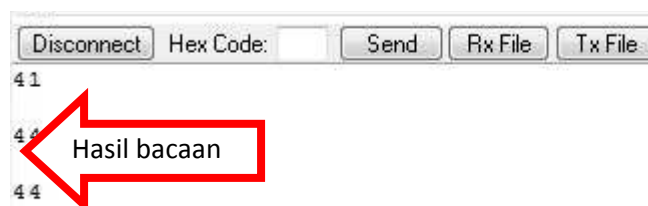
Kaca diletakkan tepat didepan sensor cahaya. Hal ini dilakukan agak tidak ada cahaya lain yang masuk ke sensor selain cahaya laser yang melewati kaca.



Gambar 3.15 Peletakan kaca tepat berada di depan sensor

3.2.4 Mengukur intensitas cahaya (I)

Intensitas cahaya yang masuk ke dalam sensor cahaya akan berubah karena terhalangi oleh kaca. Intensitas ini disebut sebagai intensitas I .



Gambar 3.16 Nilai Intensitas setelah dipasang kaca (I)

3.2.5 Mengulangi percobaan dengan menggunakan variasi jarak, tegangan input laser, dan kaca yang memiliki *density* berbeda-beda

Ada 5 kaca yang digunakan untuk mengkalibrasi sensor. Masing – masing memiliki *optical density* berbeda-beda, yaitu 0,1; 0,3; 0,5; 0,8 dan 2. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil bacaan sensor yang valid dan terpercaya sehingga didapatkan persamaan matematika yang akan digunakan sebagai standar penggunaan sensor.



Gambar 3.17 Kaca dengan *optical density* berbeda-beda

Selain itu kalibrasi juga menggunakan variasi jarak antara sensor cahaya dengan sinar laser, yaitu dari 1m s.d. 5m. Kemudian tegangan input dari sinar laser juga divariasikan, yaitu 3 volt, 4 volt, dan 5 volt.

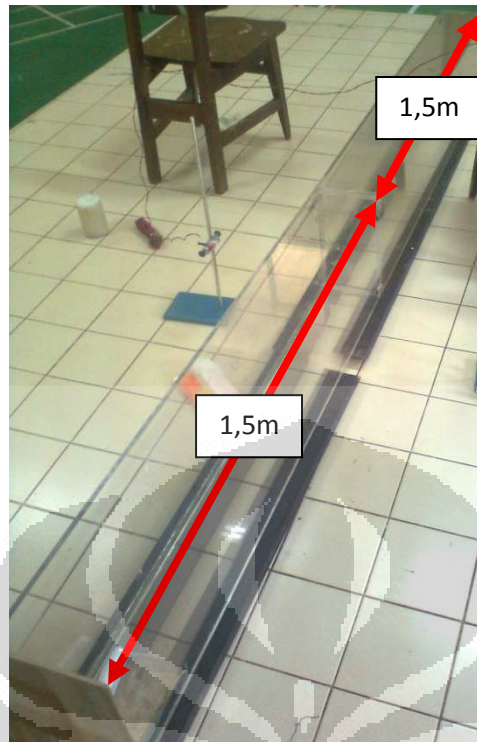


Gambar 3.18 Proses pengkalibrasian sensor menggunakan kaca dengan nilai *optical density* yang berbeda-beda

3.3 TAHAPAN PENGUKURAN *OPTICAL DENSITY* DAN *SMOKE CONVERSION FACTOR* ASAP

3.3.1 Mempersiapkan ruang uji asap yang akan digunakan

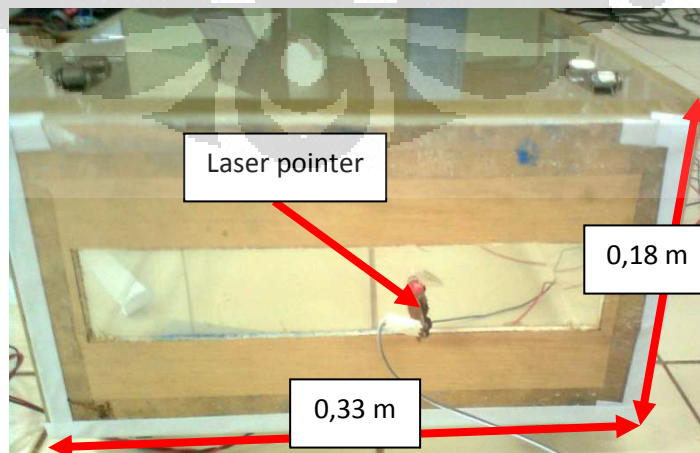
Ada dua tipe ruang uji asap yang digunakan. Ruang uji ini terbuat dari *acrilic* dengan dimensi 1,5m x 0,33m x 0,18m dan tebal 5mm. Ruang uji kedua memiliki panjang 3m dengan lebar dan tinggi yang sama dengan ruang uji pertama.



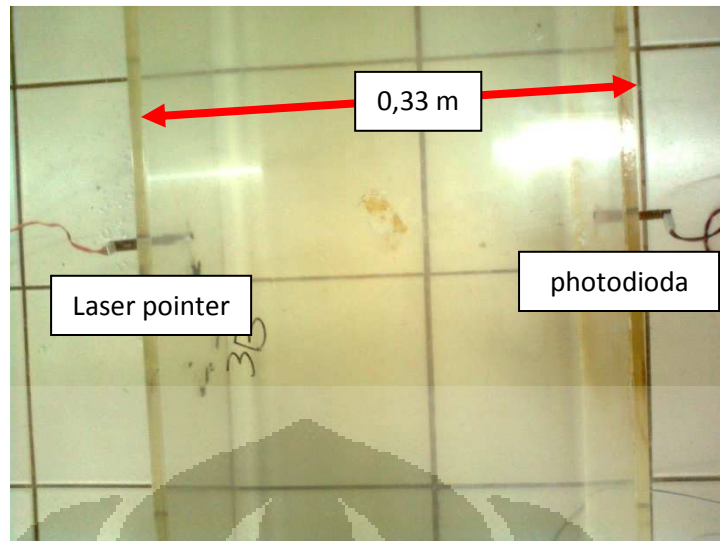
Gambar 3.19 Ruang uji tipe kedua dengan dimensi 3m x 0,33m x 0,18m

3.3.2 Instalasi sensor

Ada dua buah sensor yang digunakan dengan masing-masing menggunakan satu sumber cahaya (laser). Sensor pertama diletakkan berjarak 1,5m dengan sumber cahaya sedangkan sensor kedua berjarak 0,33m dari sumber cahaya. Sensor dan sumber cahaya diletakkan tepat di dinding dengan cara melubangi dinding *acrilic*. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi difraksi cahaya laser dikarenakan ketebalan *acrilic*.



Gambar 3.20 Peletakan sumber cahaya (laser pointer) untuk jarak 1,5m



Gambar 3.21 Peletakan sensor cahaya dan sumber cahaya untuk jarak 0,33m

3.3.3 Mempersiapkan material uji

Material yang akan diuji adalah kertas A4 80 gr.m^{-2} . Ada tiga variasi massa material yang akan dibakar, yaitu 0,5gram, 1gram, dan 1,5gram. Adapun nilai specific extinction coefficient adalah $8,7 \text{ m}^2/\text{gr}$ (Geiman, JA. 2003).

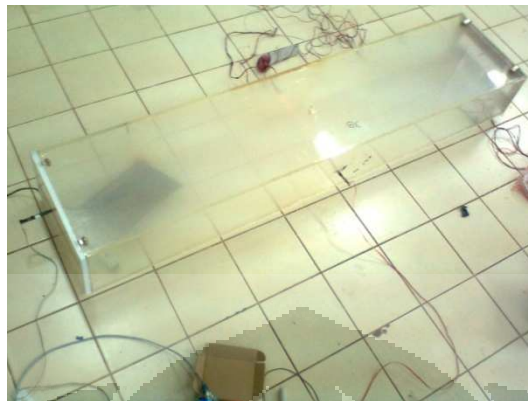


Gambar 3.22 Proses penghitungan massa kertas yang akan dibakar

3.3.4 Proses percobaan dan pengukuran intensitas awal (I_0) dan intensitas asap(I)

Proses percobaan dimulai dengan cara mengukur intensitas awal (I_0) sebelum asap diproduksi. Kemudian dilakukan proses pemanasan pada permukaan material menggunakan *heater*. Proses dilakukan sampai sampel material uji habis terbakar. Kemudian dibiarkan selama beberapa menit agar asap yang dihasilkan menyebar merata di dalam ruang uji. Setelah asap stabil, dilakukan

pengukuran besarnya intensitas cahaya yang terbaca oleh sensor (I).



Gambar 3.23 Proses pembakaran sedang terjadi dan pengukuran intensitas asap

3.3.5 Menghitung massa sisa material yang terbakar

Massa sisa material hasil pembakaran dibutuhkan untuk mengetahui berapa banyak massa material yang terbakar.



Gambar 3.24 Proses penghitungan massa sisa hasil uji coba

3.3.6 Variasi data percobaan

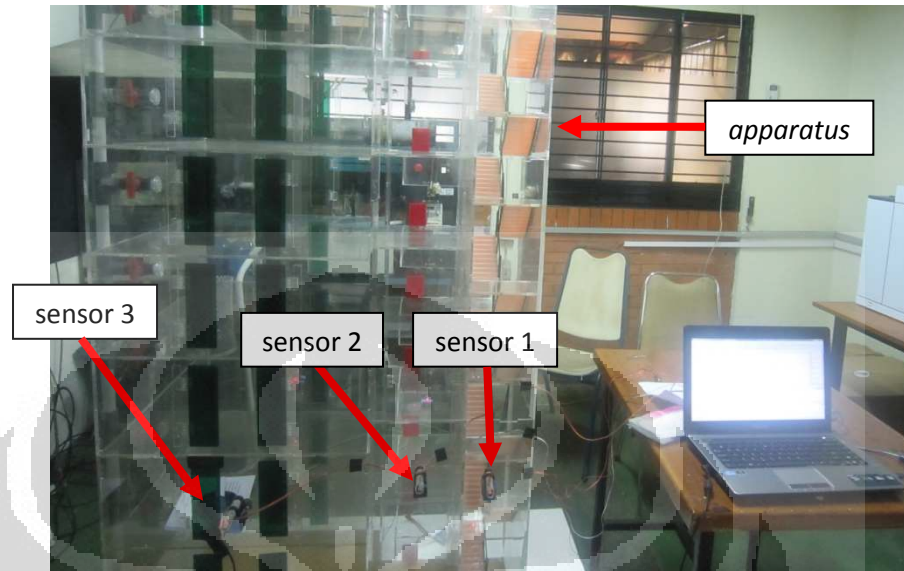
Percobaan diulangi dengan massa material berbeda-beda (0,5gram, 1gram, dan 1,5gram) serta menggunakan dua buah tipe ruang uji (1,5 x 0,33 x 0,18m dan 3 x 0,33 x 0,18m). Total ada enam kali percobaan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data yang lebih baik.

3.4 TAHAPAN PERCOBAAN DAN SIMULASI PADA APPARATUS

3.4.1 Instalasi peralatan sensor pada *apparatus*

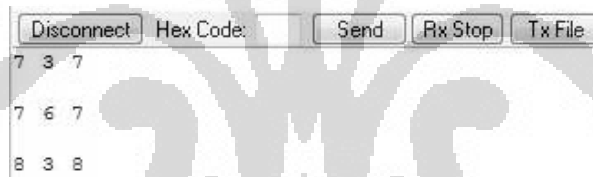
Sensor dan sumber cahaya diletakkan di lantai ketiga dari *apparatus*. Ada tiga buah sensor yang digunakan dengan masing-masing menggunakan satu sumber cahaya (laser pointer). Sensor

pertama diletakkan di tangga darurat. Lalu sensor kedua diletakkan di ruangan antara ruangan utama dengan pintu darurat. Dan sensor ketiga terletak di ruangan utama.



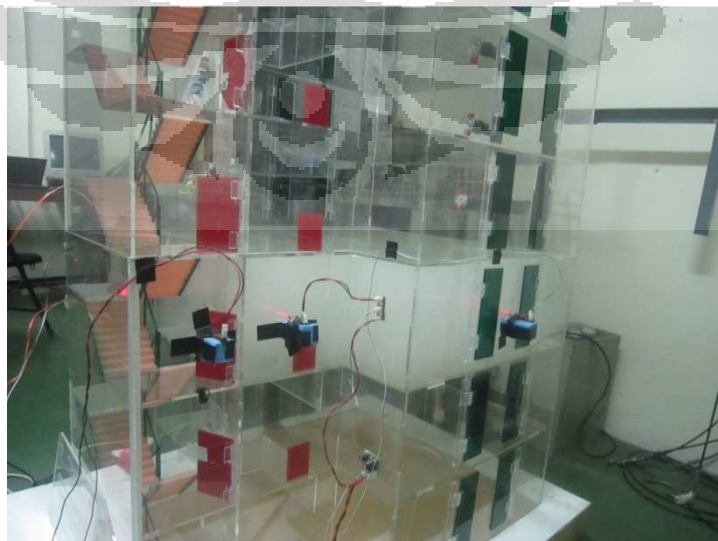
Gambar 3.25 Instalasi sensor pada *apparatus*

3.4.2 Pengukuran intensitas awal (I_0)



Gambar 3.26 Intensitas awal (I_0) sensor

3.4.3 Proses percobaan dan pengukuran intensitas (I)



Gambar 3.27 Proses percobaan sedang berlangsung



Gambar 3.28 Intensitas yang terbaca dari setiap sensor

3.4.4 Simulasi *FDS*

Pada simulasi penelitian ini, pemodelan dilakukan dengan menggunakan *FDS 5* untuk menyimulasikan suatu *apparatus* di mana di dalamnya terdapat suatu nyala api *pool fire*.

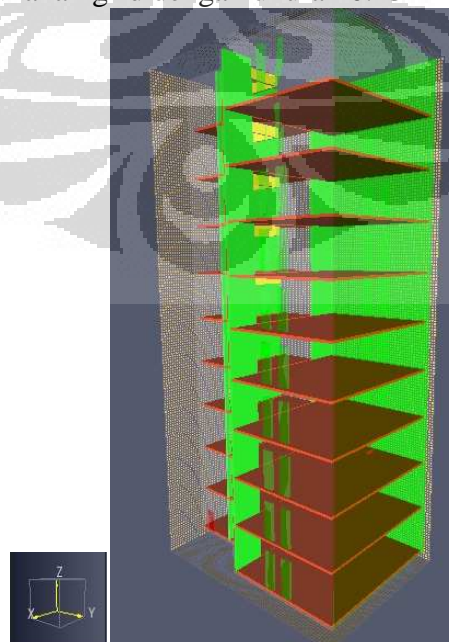
Simulasi ini akan dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan data perubahan *optical density* terhadap waktu di tiga titik yang berbeda. Hasil dari simulasi ini akan dibandingkan dengan hasil percobaan.

3.3.4.1 Domain

Dalam suatu simulasi dengan menggunakan *FDS 5*, perbandingan antara besarnya domain dan ukuran grid yang digunakan dalam simulasi sangat berkaitan satu sama lain.

Besarnya grid yang digunakan dalam suatu simulasi *FDS* akan sangat memengaruhi akurasi hasil simulasi. Besarnya ukuran grid yang dipakai juga akan berpengaruh pada *computing time* untuk suatu simulasi. Jika merujuk pada *FDS 5 user guide* (McGrattan, K.2007), untuk simulasi pertumbuhan api dalam suatu bangunan dapat menggunakan *grid size ratio* 1 : 1 : 1.

Dengan merujuk pada hal tersebut maka dalam simulasi ini dipergunakan grid dengan ukuran 0.23 m x 0.23 m x 0.23 m.



Gambar 3.29 lay out mesh yang digunakan

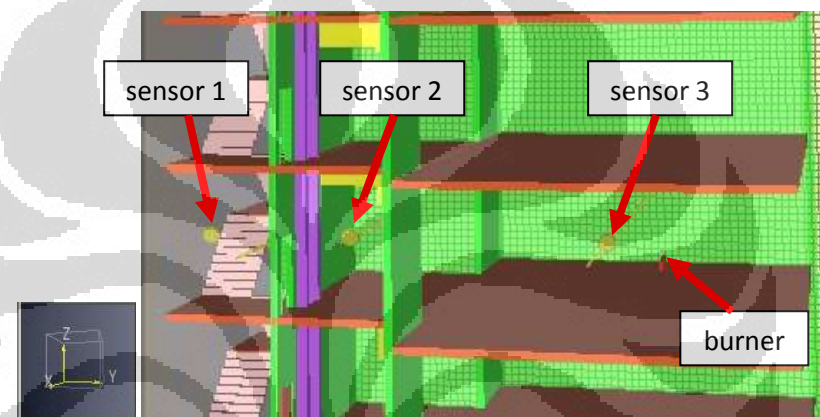
3.3.4.2 Geometri

Geometri yang digunakan dalam simulasi ini memiliki ukuran 20x lebih besar daripada geometri *apparatus* yang digunakan saat percobaan. Kompartemen yang digunakan dalam simulasi ini memiliki dimensi 13 m x 17.5 m x 40m (x,y,z).

Adapun posisi peralatan pengukuran yang digunakan dalam simulasi yaitu:

Tabel 3.1 Posisi peralatan pengukuran *optical density*

Device	Sumbu – x	Sumbu – y	Sumbu – z
<i>Beam optical density 1</i>	6,25-18,75m	29m	11,2m
<i>Beam optical density 2</i>	9-16m	22m	11,2m
<i>Beam optical density 3</i>	9-16m	19m	10,7m



Gambar 3.30 Posisi peletakan burner dan sensor untuk mengukur *optical density*

3.3.4.3 Material Properties

Properties dari material sangat berpengaruh terhadap hasil simulasi yang dilakukan. Properties dari material yang digunakan dalam simulasi ini yaitu:

Tabel 3.2 *Material properties* data masukan untuk simulasi FDS

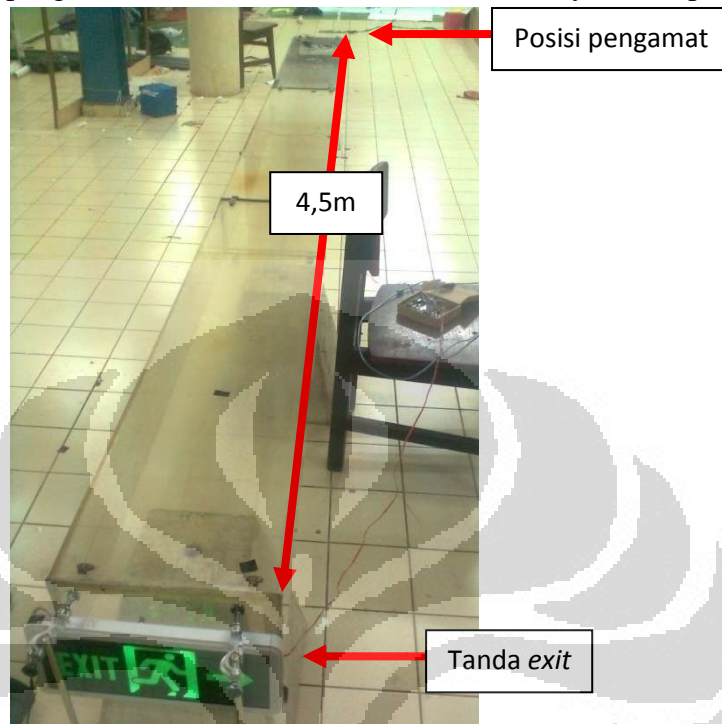
Material Properties	Concrete	Gypsum Plaster	Laminated Safety Glass	Steel
Density (kgm^{-3})	2100	1440	1380	7850
Conductivity ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	1	0,48	$4,9 \times 10^{-2}$	45,8
Emissivity	0,9	0,9	0,9	0,95
Absorption Coefficient (m^{-1})	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}
Specific heat ($\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)	0,88	0,84	0,84	0,46

3.5 TAHAPAN PENGUJIAN PENGARUH *OPTICAL DENSITY* ASAP TERHADAP *VISIBILITY*

3.5.1 Instalasi peralatan sensor dan tanda *exit* pada ruang uji

Sensor yang digunakan berjumlah satu dan menggunakan satu sumber cahaya. Adapun untuk ruang uji yang digunakan memiliki dimensi 4,5m x 0,33m x 0,18m. Sensor ditempatkan seperti pada

gambar 3.20 dan berjarak 4,5m dari sumber cahaya. Sementara itu tanda *exit* diletakkan dekat dengan sensor cahaya. Sedangkan pengamat akan berada di dekat sumber cahaya (laser pointer).



Gambar 3.31 Instalasi peralatan sensor dan tanda *exit*

3.5.2 Pengukuran intensitas awal (I_0)



Gambar 3.32 Intensitas awal (I_0)

3.5.3 Proses percobaan dan survey visibilitas tanda *exit* dengan *optical density* yang berbeda-beda

Proses percobaan dimulai dengan membakar kertas dengan menggunakan *heater*. Setelah itu, baru dilakukan proses pengukuran nilai intensitas yang terbaca sensor karena pengaruh dari asap (I).

Kemudian pengamat akan mengamati tanda *exit* pada setiap perubahan *optical density* asap. Pengamatan dilakukan saat nilai *optical density* asap bernilai kurang dari 1. Hal ini dilakukan karena saat nilai *optical density* asap bernilai lebih dari 1, pengamat belum bisa melihat tanda *exit* dikarenakan terhalangi

oleh asap yang masih tebal. Jumlah pengamat adalah lima orang. Adapun parameter yang digunakan oleh pengamat adalah:

Tabel 3.3 Parameter pengamatan tanda *exit*

Nilai	Keterangan
1	Tulisan dapat terbaca dengan jelas
2	Tulisan kurang jelas namun gambar terlihat jelas
3	Tulisan dan gambar tidak jelas namun terlihat cahaya lampu hijau
4	Tidak jelas sama sekali



Gambar 3.33 Proses pengamatan tanda *exit*

3.6 METODOLOGI PENELITIAN

Hal pertama yang diteliti adalah mencari karakteristik daya tembus laser pointer dengan melakukan kalibrasi terhadap kaca yang memiliki density berbeda-beda sehingga didapatkan persamaan matematika yang bisa dijadikan standar penggunaan sistem.

Kedua, menggunakan alat hasil rancangan untuk mengukur *optical density* dari asap. Nilai dari *optical density* ini akan digunakan untuk mendapatkan nilai *smoke conversion factor* (ϵ) dari material yang digunakan untuk percobaan sesuai dengan persamaan (2.7) s.d. (2.14).

Ketiga, mempelajari dan membandingkan hasil simulasi *FDS* dengan percobaan menggunakan alat hasil rancangan pada *apparatus*.

Dan keempat, mempelajari pengaruh perbedaan *optical density* asap terhadap visibilitas seseorang.

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil dan Analisis Kalibrasi Alat Rancangan

Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan satu buah laser pointer yang digunakan untuk penelitian. Proses kalibrasi diperlukan untuk mengetahui karakteristik daya tembus sinar dari laser pointer yang digunakan.

Hal yang harus diperhatikan adalah posisi jatuhnya sinar laser pada sensor cahaya photodiode. Perbedaan letak jatuhnya sinar mempengaruhi hasil bacaan oleh sensor cahaya photodiode sehingga percobaan disetting dengan sangat pas dan berhati-hati agar ada perubahan posisi selama proses pengambilan data karena akan mempengaruhi kualitas dari data yang dihasilkan.

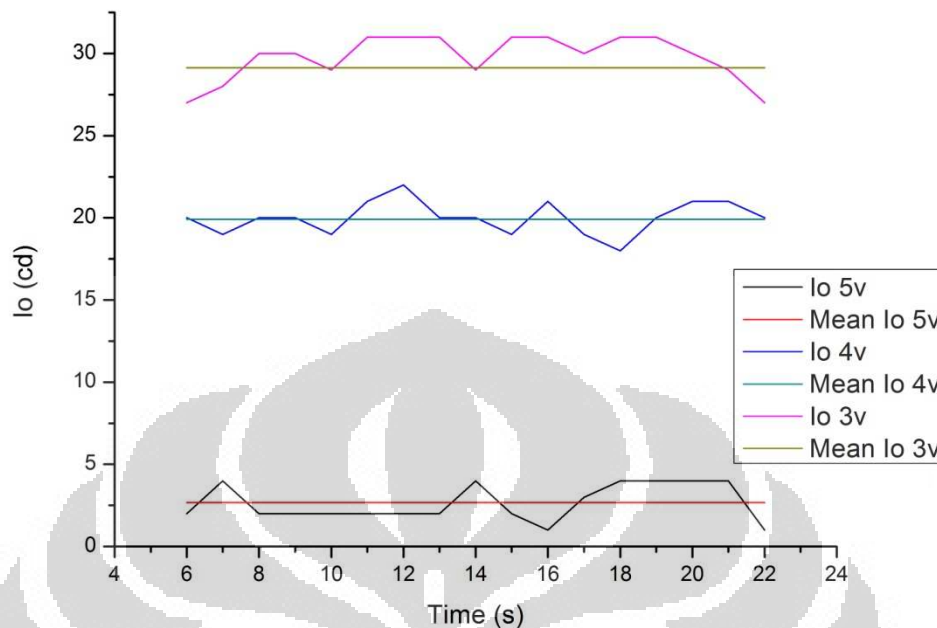
Data yang diperoleh melalui sensor cahaya merupakan data analog. Sedangkan data yang ditampilkan di *computer* merupakan data digital. Untuk mengubah data analog ke data digital diperlukan adanya ADC (*Analog to Digital Converter*). ADC merupakan salah satu fitur yang terdapat di *micro controller* ATmega 16. Adapun rumus yang digunakan untuk mengkonversi nilai analog ke digital adalah:

$$\text{nilai digital} = \frac{\text{tegangan input}}{\text{tegangan referensi}} \times 1024$$

Tegangan input merupakan tegangan yang dihasilkan oleh perubahan intensitas cahaya yang diterima photodiode. Semakin besar intensitas cahaya yang diterima oleh photodiode maka semakin kecil nilai tegangan inputnya, begitu pula sebaliknya. Sedangkan tegangan referensi merupakan tegangan yang berasal dari *micro controller* (± 5 volt). Range nilai bacaan dari sensor photodiode adalah 0-1024. Hal ini dikarenakan nilai ADC yang digunakan adalah 10bit.

Sesuai dengan persamaan (2.10) untuk menentukan nilai dari *optical density*, dibutuhkan data perbandingan antara I/I_0 . Intensitas yang masuk ke sensor cahaya photodiode tanpa adanya penghalang (kaca) dianggap sebagai (I_0) dan intensitas cahaya yang masuk ke sensor cahaya photodiode dengan

menggunakan kaca dianggap (I). Nilai I_0 dan I didapat dari hasil percobaan. Sedangkan nilai *optical density* didapat dari referensi kaca yang digunakan.



Gambar 4.1 Grafik perubahan nilai I_0 terhadap waktu

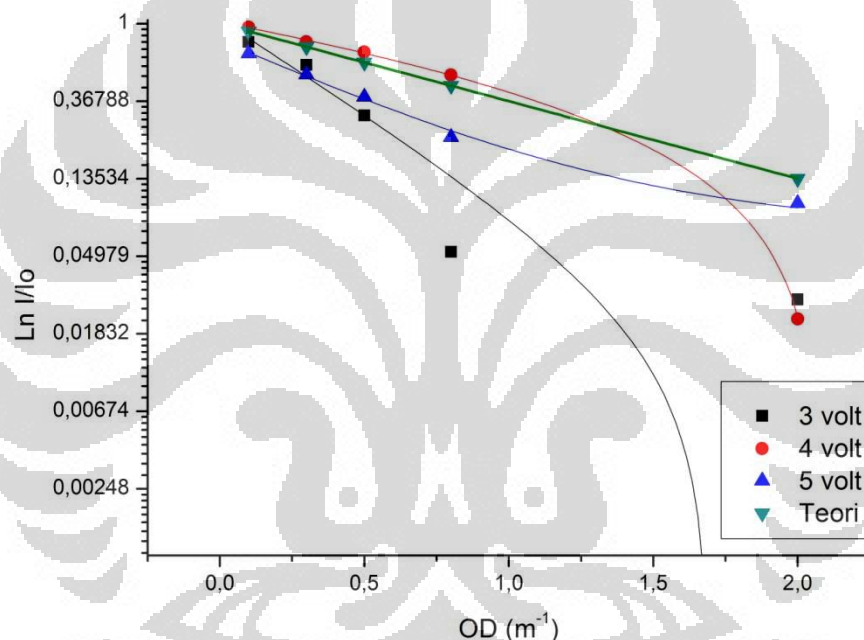
Dari gambar diatas terlihat perbedaan nilai I_0 dikarenakan tegangan input yang berbeda-beda. Adapun hubungannya adalah semakin besar tegangan input yang digunakan maka semakin kecil nilai I_0 yang dihasilkan. Ini dikarenakan semakin besar tegangan input semakin besar pula intensitas cahaya yang dihasilkan oleh laser pointer sehingga mempengaruhi hasil bacaan sensor cahaya.

Nilai I_0 diatas cenderung tidak stabil dan berubah-ubah. Namun *range* perubahannya tidaklah besar. Untuk laser pointer dengan tegangan input 5volt memiliki nilai *error* berkisar antara 0,68 s.d. 1,68. Kemudian laser pointer dengan tegangan input 4volt memiliki nilai *error* sekitar 0,09 s.d. 2,09. Dan laser pointer dengan input 3volt memiliki nilai *error* antara 0,86 s.d. 4,13.

Terlihat nilai *error* memiliki hubungan dengan nilai tegangan input laser pointer. Semakin besar tegangan input laser pointer maka semakin kecil tingkat *error*nya. Nilai *error* ini sangat dipengaruhi oleh perubahan nilai tegangan referensi pada *micro controller*. Perubahan ini disebabkan oleh *noise* yang dihasilkan oleh sumber tegangan *micro controller* yang berasal dari komputer sehingga bacaan sensor cahaya juga ikut tidak stabil.

Disamping itu, ketidakstabilan juga dipengaruhi kecepatan pengambilan data sensor oleh *micro controller*. Semakin cepat pengambilan data sensor maka semakin besar pula nilai *error* yang dihasilkan. Misalnya, nilai *error* untuk data yang diambil tiap 0,1 detik akan lebih besar jika dibandingkan data yang diambil tiap 1 detik.

Kemudian dengan memplot nilai I/I_0 dengan nilai *optical density* dari kaca ke dalam *software OriginPro8* bisa didapatkan persamaan matematika yang berupa persamaan eksponensial ($y=y_0+A*\exp(R_0*x)$). Persamaan eksponensial inilah yang akan digunakan untuk menjadi standar penggunaan alat saat mengukur *optical density* dari asap.



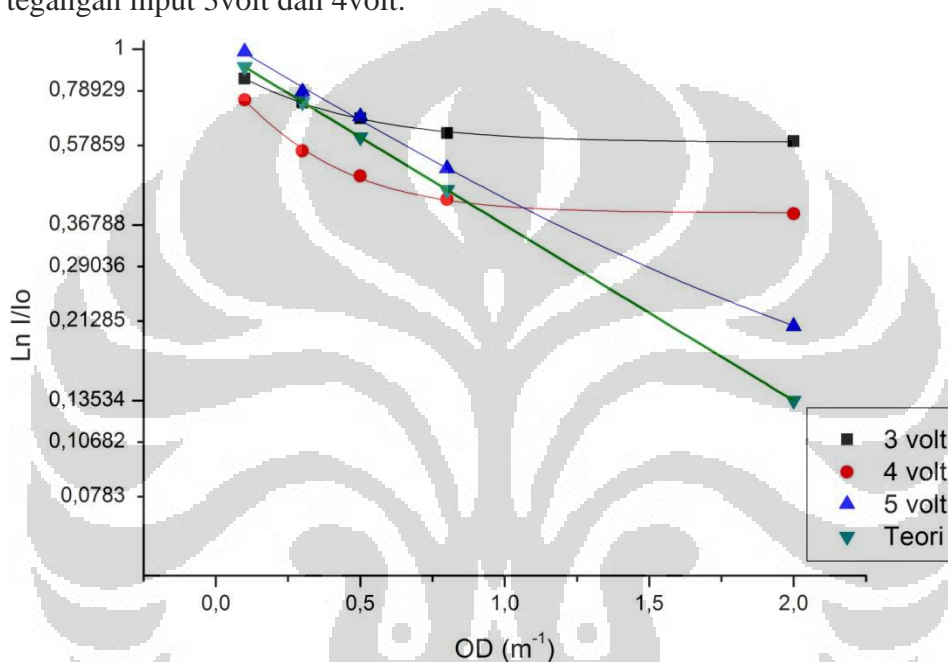
Gambar 4.2 Grafik Hasil Kalibrasi laser pointer untuk jarak 1m

Tabel 4.1 Hasil Kalibrasi Laser Pointer untuk jarak 1m

Jarak (m)	Tegangan (volt)	y_0	Error	A	Error	R_0	Error
1	3	-0,01851	0,09922	1,07479	0,15984	-2,40024	0,8124
	4	-0,67588	0,20794	1,69686	0,19459	-0,44369	0,08648
	5	0,07087	0,02585	0,73896	0,03165	-1,75754	0,19538

Dari hasil kalibrasi diatas, dapat terlihat pengaruh perubahan tegangan input pada laser pointer. Hasil bacaan sensor dengan tegangan input laser pointer

5volt terlihat memiliki grafik yang lebih stabil jika dibandingkan dengan yang lainnya. Sedangkan, dengan menggunakan tegangan input 4volt, hasil bacaan sensor sebenarnya paling mendekati teori, namun hanya berlaku untuk *optical density* dibawah $1,5\text{m}^{-1}$. Hasil kalibrasi juga menunjukkan bahwa bacaan sensor dengan tegangan input laser pointer 3volt memiliki grafik yang paling tidak ideal. Grafik yang lebih stabil membuat nilai *error* hasil bacaan sensor dengan tegangan input laser pointer 5volt lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan tegangan input 3volt dan 4volt.



Gambar 4.3 Grafik hasil bacaan sensor dengan variasi jarak untuk tegangan input 5 volt

Tabel 4.2 Hasil kalibrasi laser pointer dengan tegangan input 5volt

Jarak (m)	y0	Error	A	Error	R0	Error
1	0,07087	0,02585	0,73896	0,03165	-1,75754	0,19538
2	0,13723	0,01307	0,95203	0,01701	-1,87989	0,0844
3	0,12465	0,01686	0,76532	0,02089	-1,78001	0,12531
4	0,1624	0,03464	0,87323	0,03893	-1,6003	0,19385
5	0,09433	0,04349	0,98549	0,03727	-1,08252	0,12113

Hasil kalibrasi untuk jarak yang berbeda-beda juga menunjukkan bahwa dengan menggunakan tegangan input 5volt, hasil bacaan sensor cahaya memiliki grafik yang stabil dan *trend error* yang relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan tegangan input laser pointer 4volt dan 3volt. Tegangan

input laser pointer 4volt memiliki grafik yang tidak stabil dan *trend error* yang meningkat seiring dengan bertambahnya jarak. *Trend error* yang meningkat juga ditunjukkan saat menggunakan tegangan input 3volt dan nilainya cenderung lebih besar jika dibandingkan dengan hasil bacaan sensor menggunakan tegangan input 4volt.

4.2 Hasil dan Analisis Pengukuran *Optical Density* dengan Alat Rancangan

Pengukuran *optical density* dengan menggunakan alat hasil rancangan bertujuan untuk menghitung nilai *smoke conversion factor* (ϵ) dari material yang dibakar. Dalam percobaan kali ini material yang digunakan adalah kertas A4 80gm⁻². Variasi yang digunakan adalah variasi massa (1,5gram, 1gram, dan 0,5gram) dan variasi jarak sensor dengan laser pointer (3m, dan 1,5m). Hubungan antara ϵ dengan *optical density* didapat dari persamaan:

$$OD = K_m \cdot m \cdot L$$

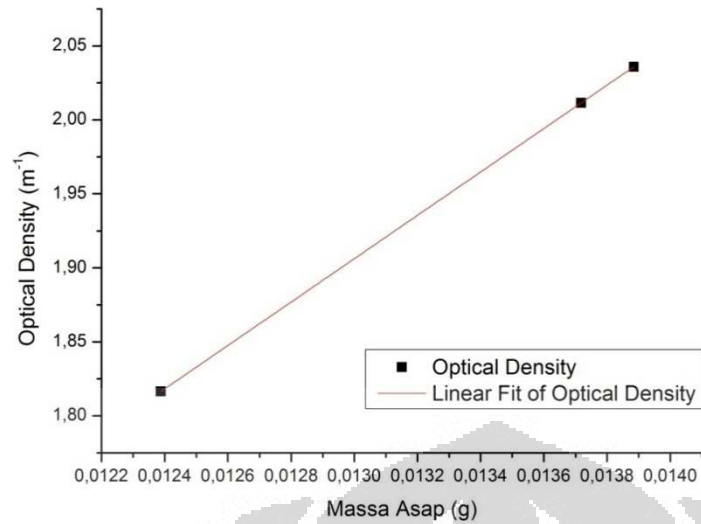
K_m adalah *specific extinction coefficient* (m²g⁻¹), m adalah besarnya konsentrasi massa asap (gm⁻³), dan L adalah jarak antara sensor cahaya dengan sumber cahaya. Lalu konsentrasi massa asap didapat dengan persamaan:

$$m = \frac{M_s}{V_r}$$

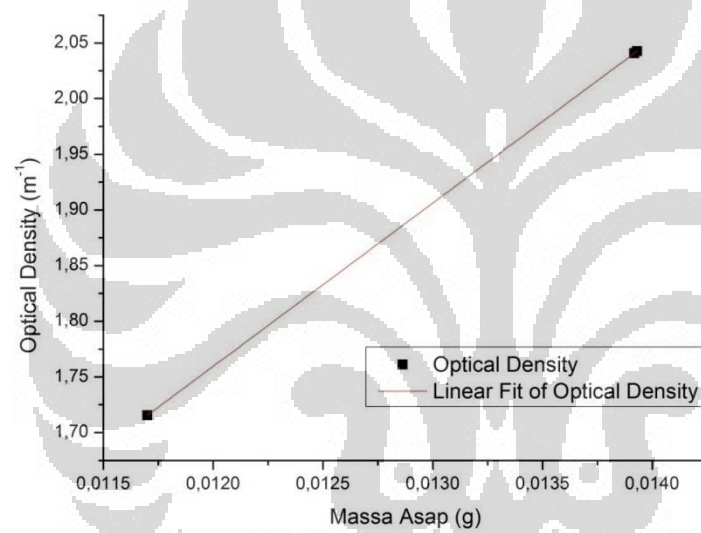
dengan M_s adalah massa asap (g) dan V_r adalah volume ruang uji (m³). Dari kedua persamaan diatas kita bisa menyimpulkan:

$$M_s = \frac{OD \cdot V_r}{K_m \cdot L}$$

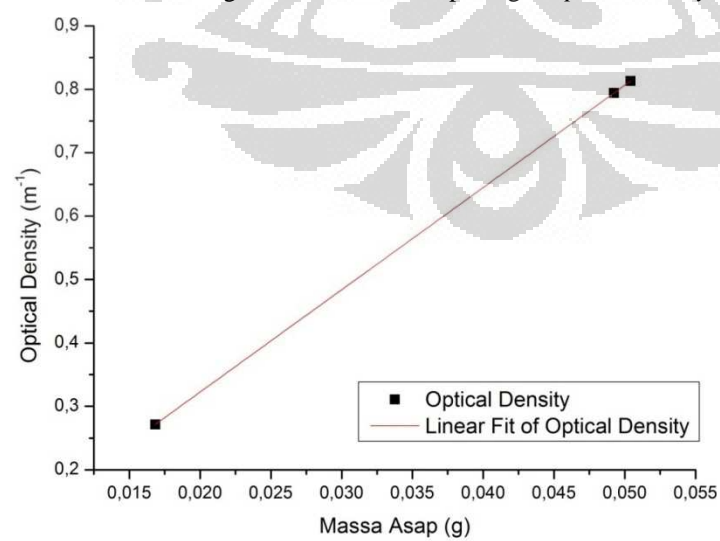
Terlihat dari persamaan diatas, untuk nilai V_r dan L yang tetap, perubahan massa asap berbanding lurus dengan perubahan *optical density* sehingga makin besar nilai *optical density* makin besar pula massa asap. Hal ini bisa dilihat dari gambar 4.4, gambar 4.5, dan gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.4 Hubungan antara Massa asap dengan *optical density* ($V_r = 0,089m^3$ dan $L=3m$)



Gambar 4.5 Hubungan antara Massa asap dengan *optical density* ($V_r = 0,089m^3$ dan $L=1,5m$)



Gambar 4.6 Hubungan antara Massa asap dengan *optical density* ($V_r=0,178m^3$ dan $L=0,33m$)

Dengan mengetahui massa asap, M_s , kita bisa mendapatkan nilai *smoke conversion factor*, ε , setelah dibandingkan dengan massa sisa hasil pembakaran, M_b .

$$\varepsilon = \frac{M_s}{M_b}$$

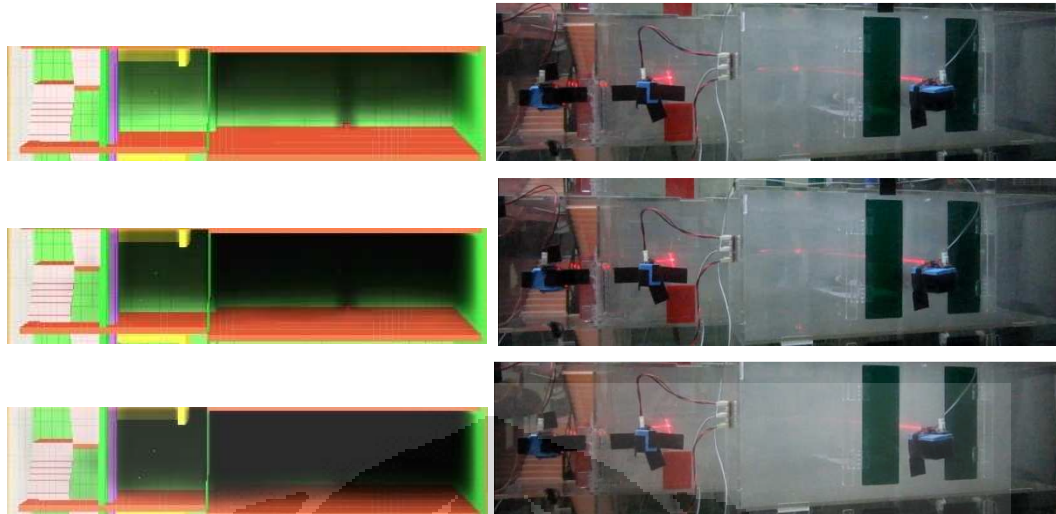
Nilai rata-rata ε yang didapatkan dari hasil percobaan adalah 0,0326. Nilai ini sama dengan nilai ε yang ada di tabel 4.4 untuk tipe *douglas fir* yang merupakan bahan dasar pembuatan kertas.

Tabel 4.3 Nilai *smoke conversion factor* dari berbagai macam tipe kayu dan plastik (Mulholland, G.W. 2002)

Type	Smoke Conversion Factor, ε	Combustion Conditions	Fuel Area, m ²
Douglas fir	0.03–0.17	Pyrolysis	0.005
Douglas fir	< 0.01–0.025	Flaming	0.005
Hardboard	0.0004–0.001	Flaming ^a	0.0005
Fiberboard	0.005–0.01	Flaming ^a	0.0005
Polyvinylchloride	0.03–0.12	Pyrolysis	0.005
Polyvinylchloride	0.12	Flaming	0.005
Polyurethane (flexible)	0.07–0.15	Pyrolysis	0.005
Polyurethane (flexible)	< 0.01–0.035	Flaming	0.005
Polyurethane (rigid)	0.06–0.19	Pyrolysis	0.005
Polyurethane (rigid)	0.09	Flaming	0.005
Polystyrene	0.17 ($m_{O_2} = 0.30$) ^b	Flaming	0.0005
Polystyrene	0.15 ($m_{O_2} = 0.23$)	Flaming	0.07
Polypropylene	0.12	Pyrolysis	0.005
Polypropylene	0.016	Flaming	0.005
Polypropylene	0.08 ($m_{O_2} = 0.23$)	Flaming	0.007
Polypropylene	0.10 ($m_{O_2} = 0.23$)	Flaming	0.07
Polymethylmethacrylate	0.02 ($m_{O_2} = 0.23$)	Flaming	0.07
Polyoxymethylene	0	Flaming	0.007
Cellulosic insulation	0.01–0.12	Smoldering	0.02

4.3 Hasil dan Analisis Perbandingan antara Pengukuran *Optical Density* Menggunakan Alat Rancangan dengan Simulasi *FDS* pada *Apparatus*

Data *optical density* diambil sejak detik ke-0 (asap keluar) sampai detik ke-180, baik yang menggunakan alat hasil rancangan maupun simulasi *FDS*. Ada tiga titik sampel yang digunakan untuk mengukur *optical density*. Sensor 1 diletakkan diruang tangga darurat, sensor 2 terletak diantara ruangan utama dengan raung tangga darurat, dan sensor 3 di ruangan utama. sumber api diletakkan di tengah ruangan utama.



Gambar 4.7 Perbandingan hasil simulasi (kiri) dan percobaan (kanan) pada detik ke-60, 120, dan 180

Gambar 4.7 menunjukkan laju pertumbuhan asap terhadap waktu pada detik ke-60, 120, dan 180. Pada detik ke-60, hasil simulasi menunjukkan asap sedang mengisi ruang utama dan sebagian terdapat di ruangan antara pintu darurat dan ruangan utama. Hal ini terjadi juga dengan hasil percobaan dimana asap sedang mengisi kedua ruangan tersebut.

Pada detik ke-120, hasil simulasi menunjukkan asap yang sudah pekat dan hampir memenuhi ruangan utama, sedangkan ruangan tangga darurat masih kosong dari asap. Hasil yang mirip ditunjukkan juga dari hasil percobaan, ruangan utama tampak pekat dan ruangan tangga darurat masih bersih dari asap.

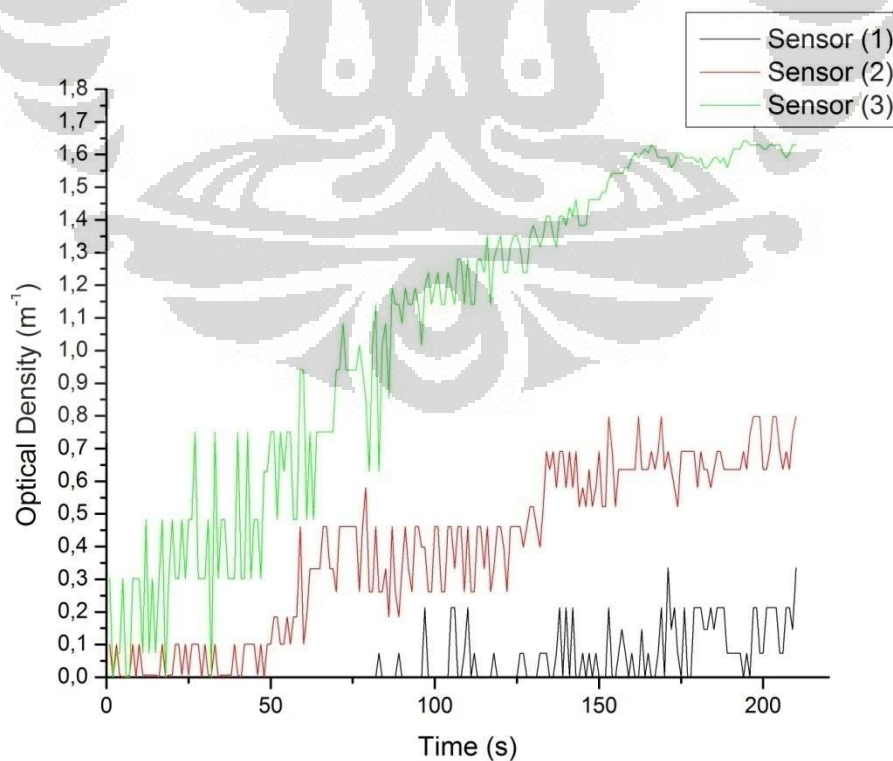
Pada detik ke-180, terlihat asap yang sudah memenuhi ruangan utama dan ruangan antara tangga darurat dengan ruangan utama. Tampak juga asap yang memasuki ruangan tangga darurat. Hasil percobaan juga menunjukkan hal serupa, namun gambar yang dihasilkan oleh kamera kurang sempurna sehingga ruangan tangga darurat tampak masih bersih walaupun sebenarnya ada sedikit asap yang masuk. Hal ini dibuktikan dengan adanya peningkatan nilai *optical density* yang terdeteksi pada sensor.

Grafik 4.8 menunjukkan grafik perubahan *optical density* terhadap waktu dari hasil percobaan. Pada grafik tersebut, sensor 3 memiliki laju perubahan *optical density* paling cepat jika dibandingkan dengan sensor 2 dan

sensor 1. Hal ini dikarenakan sensor 3 paling dekat dengan sumber asap sedangkan sensor 1 berada paling jauh dengan sumber asap. Nilai *optical density* tertinggi yang terukur oleh sensor adalah 0,3 untuk sensor 1, lalu 0,69 untuk sensor 2, dan 1,62 untuk sensor 3.

Jika melihat hasil percobaan, asap terdeteksi mulai memasuki ruang tangga darurat pada detik ke-83. Namun ketebalan asap di ruang tangga darurat tidak setebal di ruangan utama dan ruangan dimana sensor 2 berada. Hingga detik ke-180, *optical density* asap yang terukur di ruang tangga darurat hanya mencapai 0,33.

Grafik hasil percobaan menunjukkan peningkatan nilai *optical density* yang tidak stabil. Adakalanya nilai *optical density* lebih kecil ketimbang detik sebelumnya. Hal ini bisa terjadi dikarenakan adanya pergerakan asap yang sedang mengisi ruangan sehingga *optical density* asap yang melewati sensor berbeda-beda nilainya. Grafik cenderung lebih stabil saat asap telah memenuhi ruangan, hal ini terlihat dari grafik sensor 3 yang mulai stabil setelah detik ke-140. Sedangkan pada sensor 1 dan 2 masih belum stabil karena asap belum memenuhi ruangan.

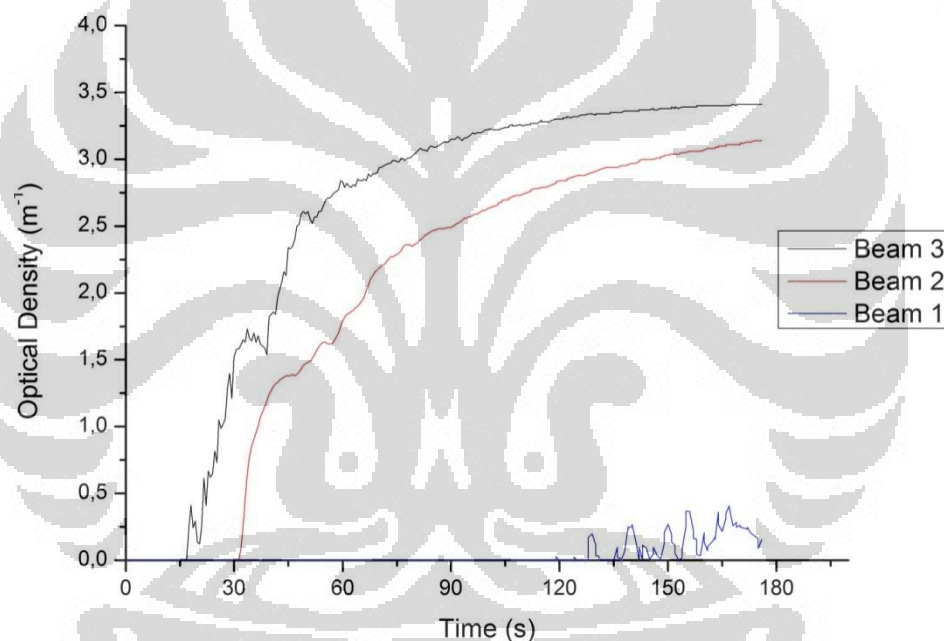


Gambar 4.8 Perubahan nilai *optical density* asap terhadap waktu hasil percobaan

Hasil simulasi *FDS* menunjukkan *trend* yang sama dengan hasil percobaan. *Optical density* di ruangan utama terdeteksi memiliki laju perubahan paling cepat jika dibandingkan dengan ruangan lainnya dan ruangan tangga darurat memiliki laju perubahan *optical density* paling kecil.

Angka tertinggi *optical density* yang terdeteksi dari hasil simulasi adalah 0,39 untuk sensor 1, lalu 3,09 untuk sensor 2, dan 3,4 untuk sensor 3.

Jika dibandingkan dengan hasil percobaan, *optical density* dari hasil simulasi memiliki nilai maksimum yang lebih tinggi ketimbang dari hasil percobaan. Hal ini bisa terjadi karena banyak asap yang *loss* keluar dari *apparatus* saat percobaan sehingga mempengaruhi tingkat opasitasnya.



Gambar 4.9 Perubahan nilai *optical density* asap terhadap waktu hasil simulasi *FDS*

4.4 Hasil dan Analisis Pengaruh Perbedaan *Optical Density* Terhadap *Visibility*

Ketebalan asap sangat berpengaruh terhadap jarak pandang seseorang. Semakin tebal asap, maka jarak pandang semakin berkurang. Dalam studinya, Tadahisa Jin menemukan hubungan antara jarak pandang dalam melihat tanda darurat (*exit*) dengan *optical density* asap.

Jika diambil contoh dari hasil percobaan dibawah ini, kita bisa mengambil contoh perhitungan nilai visibilitas. Misalnya saat *optical density*

asap bernilai 1. Dengan menggunakan persamaan $I/I_0 = \exp(-OD)$ kita mengetahui bahwa intensitas cahaya yang diterima oleh sensor cahaya saat *optical density* asap bernilai 1 adalah sebesar $\pm 37\%$ dari intensitas cahaya yang terbaca sensor dalam kondisi tanpa asap. Lalu hubungan antara *optical density* dengan koefisien absorpsi asap (K) adalah $OD = K/2,3$ (Mulholland, GW. 2002) sehingga dapat kita nilai K adalah $2,3 \text{ m}^{-1}$. Dengan mengetahui nilai koefisien absorpsi kita bisa mengetahui nilai visibilitas tanda exit dimana hubungannya adalah $KS=8$ (*light-emitting sign*) sehingga untuk nilai *optical density* 1, jarak pandangnya adalah 3,48m. Tabel 4.4 menunjukkan hubungan antara *optical density* asap dengan visibilitas dimana dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai *optical density* asap maka semakin berkurang jarak pandang seseorang dalam melihat tanda *exit*.

Tabel 4.4 Pengaruh *optical density* asap terhadap visibilitas

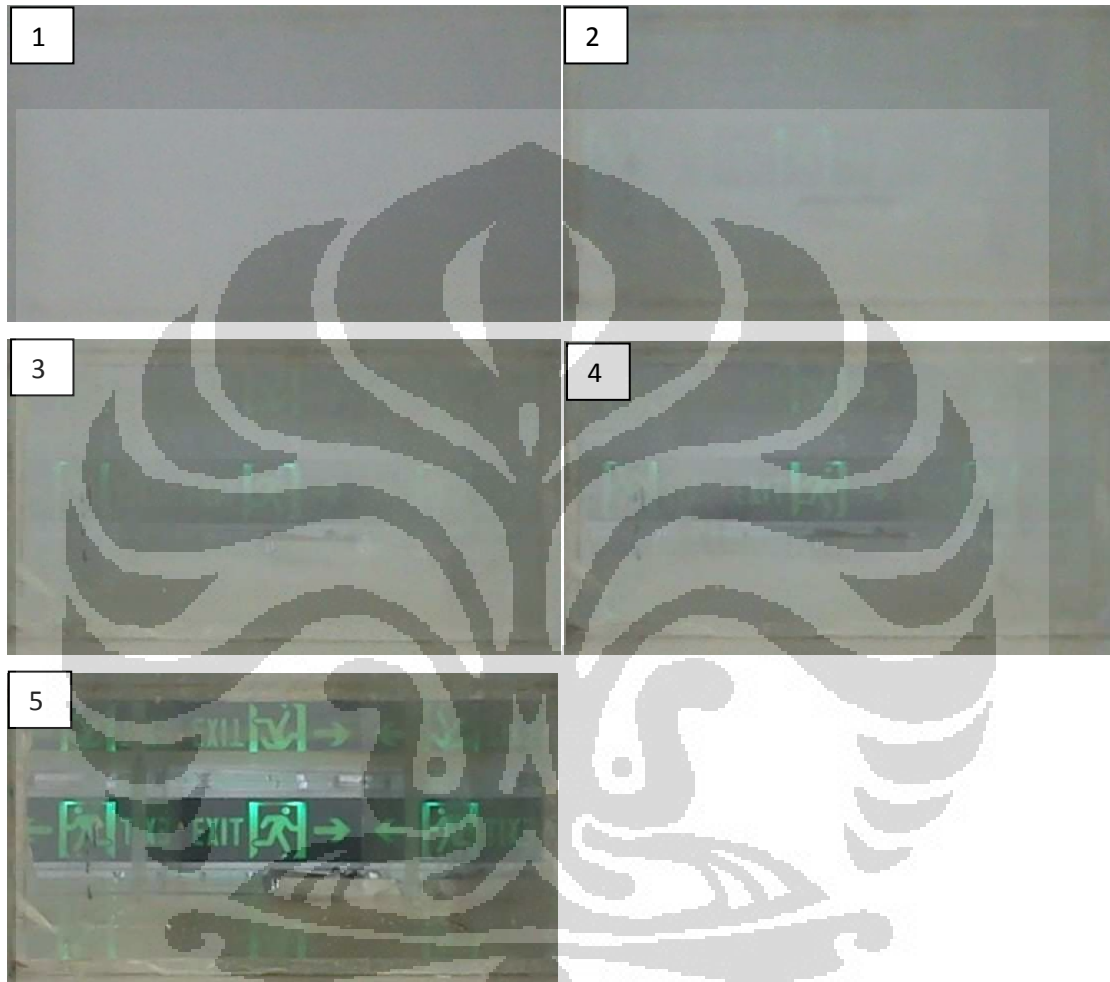
OD (m^{-1})	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K (m^{-1})	0,23	0,46	0,69	0,9	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3
Visibilitas (m)	34,78	17,39	11,59	8,70	6,96	5,80	4,97	4,35	3,86	3,48

Tabel 4.5 Hasil pengamatan tanda *exit* dengan *optical density* berbeda-beda

OD	Pengamat				
	Tito	Irvan	Rizki	Firman	Yulian
0,1	1	1	1	1	1
0,2	1	2	2	2	1
0,3	1	2	2	2	2
0,4	2	2	3	3	2
0,5	3	3	3	3	3
0,6	3	3	4	4	3
0,7	3	4	4	4	3
0,8	3	4	4	4	3
0,9	4	4	4	4	3
1	4	4	4	4	4
>1	4	4	4	4	4

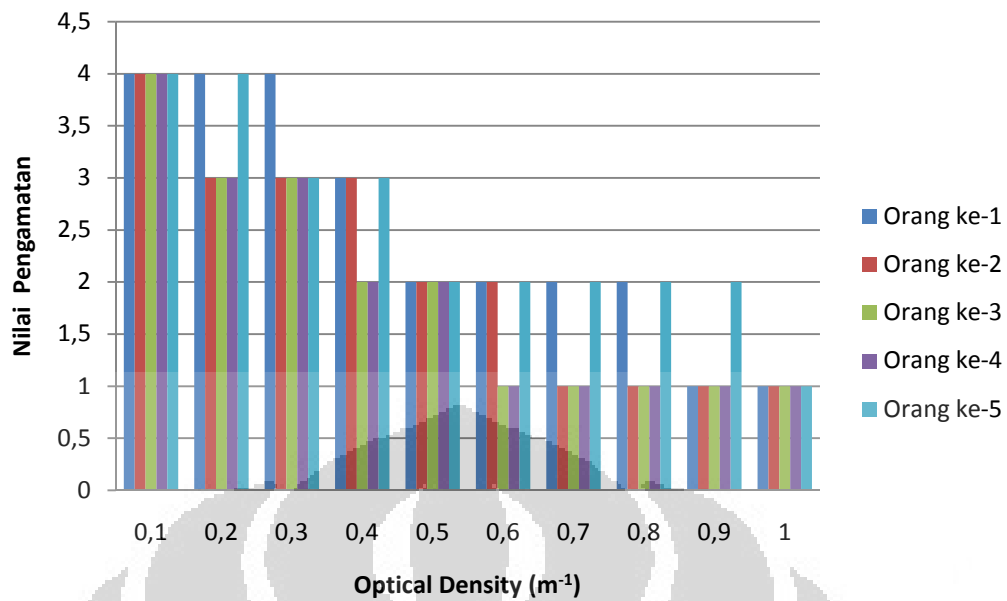
Keterangan:

1. Tidak jelas sama sekali
2. Tulisan dan gambar tidak terlihat jelas, tetapi terlihat warna lampu hijau
3. Tulisan kurang terlihat jelas tetapi gambar terlihat jelas
4. Tulisan dapat terbaca dengan jelas



Gambar 4.10 Parameter yang digunakan untuk mengamati pengaruh perubahan *optical density* asap (1-4) dan kondisi pengamatan tanpa asap (5)

Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengamatan tanda *exit* (gambar 4.10) dengan ketebalan asap yang berbeda-beda. Diketahui jarak antara pengamat dengan tanda *exit* adalah 4,5m. Kemudian pengamatan dilakukan setiap perubahan *optical density* asap sebesar 0,1 dengan *range optical density* dari 0,1 s.d. 2.



Gambar 4.11 Hasil pengamatan tanda *exit* dengan nilai *optical density* berbeda-beda

Hasil percobaan menunjukkan jika pengamat sama sekali tidak bisa melihat tanda *exit* jika *optical density* bernilai ≥ 1 . Hanya satu orang saja yang mampu mengidentifikasi tanda *exit* dengan melihat warna hijau pada tanda *exit* saat *optical density* bernilai 0,9.

Pada saat *optical density* bernilai 0,5, semua pengamat tidak mampu melihat tulisan maupun gambar, namun bisa mengidentifikasi nyala lampu *exit*.

Pada saat *optical density* bernilai 0,4, tiga orang menyatakan bahwa mereka mampu melihat gambar dengan jelas tetapi belum melihat tulisan dengan jelas. Satu orang bertambah saat *optical density* mencapai nilai 0,3.

Pada saat *optical density* bernilai 0,1, semua pengamat mampu mengamati tulisan *exit* dan gambar dengan jelas.

Dari hasil percobaan di atas terlihat bahwa pengamat lebih mudah untuk mengidentifikasi gambar dibandingkan tulisan. Terlihat juga, bahwa pada *optical density* 0,1 pengamat baru bisa mengidentifikasi tanda *exit* dengan jelas.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Kalibrasi diperlukan untuk mengetahui karakteristik daya tembus sinar laser. Nilai *error* hasil bacaan sensor cahaya memiliki hubungan dengan tegangan input laser pointer. Semakin besar tegangan input laser pointer maka semakin kecil tingkat *error*-nya. Nilai *error* hasil bacaan sensor cahaya dipengaruhi oleh perubahan nilai tegangan referensi pada *micro controller*. Perubahan ini disebabkan oleh *noise* yang dihasilkan oleh sumber tegangan *micro controller* yang berasal dari komputer sehingga bacaan sensor cahaya juga ikut tidak stabil. Nilai *error* hasil bacaan sensor cahaya juga dipengaruhi kecepatan pengambilan data sensor oleh *micro controller*. Semakin cepat pengambilan data sensor maka semakin besar pula nilai *error* yang dihasilkan.
2. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan tegangan input 5volt, hasil bacaan sensor cahaya memiliki grafik yang lebih stabil dan *trend error* yang relatif lebih kecil. Sedangkan untuk tegangan input 4volt memiliki *trend error* yang meningkat seiring dengan bertambahnya jarak. *Trend error* yang meningkat juga ditunjukkan saat menggunakan tegangan input 3volt.
3. Untuk volume ruang uji (V_r) dan jarak antara sensor cahaya dan sumber cahaya (L) yang tetap, nilai massa asap (M_s) berbanding lurus dengan nilai *optical density*. Semakin besar nilai *optical density* maka semakin besar pula massa asap yang dihasilkan.
4. Hasil simulasi *FDS* memiliki *trend* laju peningkatan nilai *optical density* terhadap waktu yang sama untuk setiap titik peletakan sensor jika dibandingkan dengan hasil percobaan menggunakan alat hasil rancangan.

5. Desain tanda *exit* menjadi salah satu faktor yang menentukan dalam evakuasi kebakaran. Desain gambar lebih mudah diidentifikasi dibandingkan dengan tulisan.
6. Nilai *optical density* asap 0,1 adalah titik kritis kemampuan melihat seseorang dengan jarak 4,5m.

5.2 SARAN

1. Mendesain rangkaian sinar laser sensor cahaya photodiode yang lebih baik dan proporsional agar tidak mudah rusak dan tahan lama..
2. Memilih laser pointer yang lebih tepat dan didasarkan dengan jarak dengan sensor cahaya.
3. Mendesain dudukan sensor cahaya dan sumber cahaya yang lebih kokoh untuk mengurangi pergeseran posisi yang bisa memperburuk data percobaan.
4. Mengganti kabel yang digunakan untuk menghubungkan rangkaian sensor dengan *micro controller* dengan menggunakan *bluetooth* agar alat tampak lebih elegan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianti, Desy, dkk. 2012. Alarm Kebakaran Dipasang di 3033 RW di DKI. Jakarta: vivanews.
<http://wap.viva.co.id/news/read/290398-alarm-kebakaran-dipasang-di--3-033-rw--di-dki>
- Atmel. 2010. Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash
- Dharsono, Guruh. 2012. Penentuan Kriteria Bahaya Kebakaran Melalui Evaluasi Citra Hasil Pemodelan Asap. Depok: Fakultas Teknik. Universitas Indonesia
- Drysdale, D. 2003. An Introduction to Fire Dynamics, 2nd Edition, John Wiley & Sons, John Wiley & Sons.
- Geiman, JA. 2003. Evaluation of Smoke Detector Response Estimation Methods.
- Gunawan, Eric. 2012. Integrasi Sistem Deteksi Panas Dan Aktivasi Alat Pemadam Kebakaran Berbasis Kabut Air. Depok: Fakultas Teknik. Universitas Indonesia
- Gunawan S, Hendra. 2011. Pemodelan Pengaruh Sistem Tirai Kabut Air Terhadap Densitas Asap dan Distribusi Temperatur pada Kebakaran Kompartemen
- Jin, Tadahisa. 2002. "Visibility and Human Behavior in Fire Smoke", *The SFPE*
- McGrattan, Kevin. 2007. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. USA: National Institute of Technology Reference Guide, National Institute of Standards and Technology, USA
- Mulholland, G.W. 2002. "Smoke Production and Properties", *The SFPE*
- Pandiangan, Johannes. 2007. Perancangan dan Penggunaan Photodiode Sebagai Sensor Penghindar Dinding pada Robot Forklift. Medan: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara.

Rahman, N.Vinky. 2004. Kebakaran, Bahaya *Unpredictible*, Upaya Dan Kendala Penanggulangannya. Medan: Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara.

Rochmi, Nur. 2012. Jenis-jenis dan Bahaya Laser. Tempo.co.

<http://www.tempo.co/read/news/2010/12/28/107302179/Jenis-jenis-dan-Bahaya-Laser>

Setyaningsih, Agustina. 2006. Penentuan Nilai Panjang Koherensi Laser Menggunakan Interferometer Michelson. Semarang: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Diponegoro.

Sundari. 2012. Jumlah Kebakaran Jakarta Tertinggi di Indonesia. Jakarta: tempo.co

<http://www.tempo.co/read/news/2012/03/01/083387365/Jumlah-Kebakaran-Jakarta-Tertinggi-di-Indonesia>

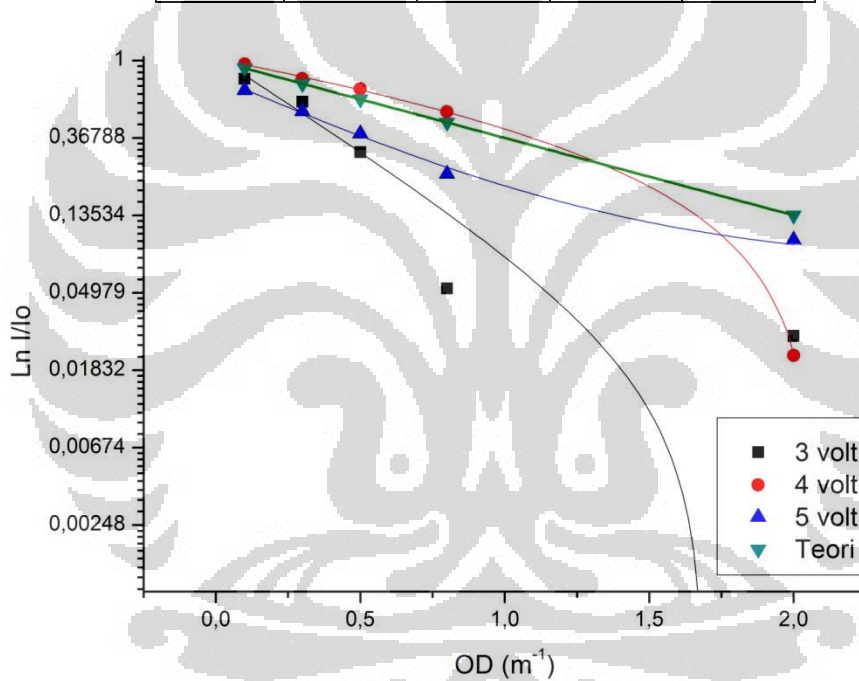


LAMPIRAN

1. Proses Kalibrasi Data Sensor

Tabel kalibrasi laser pointer untuk jarak 1m

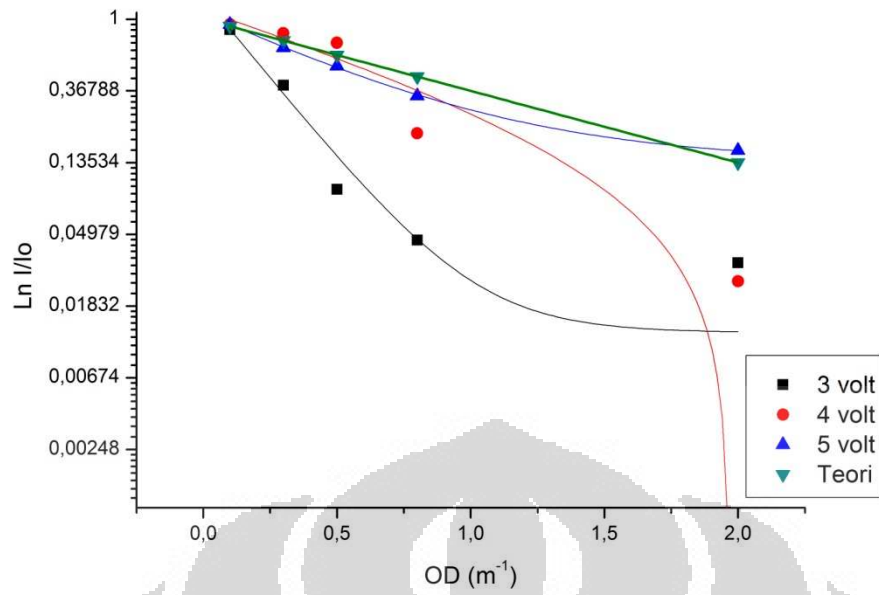
OD	Tegangan Input Laser Pointer			Teori
	3volt	4volt	5volt	
	I/Io			
0,1	0,79037	0,9561	0,68293	0,90484
0,3	0,58861	0,79032	0,51852	0,74082
0,5	0,30592	0,69258	0,38889	0,60653
0,8	0,05264	0,51579	0,2314	0,44933
2	0,02854	0,02214	0,09859	0,13534



Grafik Hasil Kalibrasi laser pointer untuk jarak 1m

Tabel kalibrasi laser pointer untuk jarak 2m

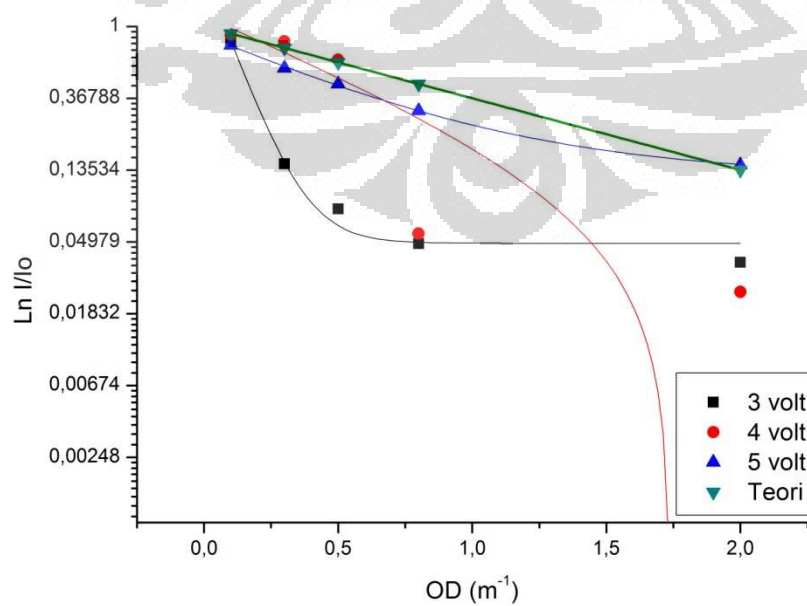
OD	Tegangan Input Laser Pointer			Teori
	3volt	4volt	5volt	
	I/Io			
0,1	0,86256	0,92982	0,92727	0,90484
0,3	0,39825	0,82222	0,67194	0,74082
0,5	0,09324	0,71913	0,52041	0,60653
0,8	0,04597	0,20399	0,34228	0,44933
2	0,03347	0,02587	0,16043	0,13534



Grafik Hasil Kalibrasi laser pointer untuk jarak 2m

Tabel kalibrasi laser pointer untuk jarak 3m

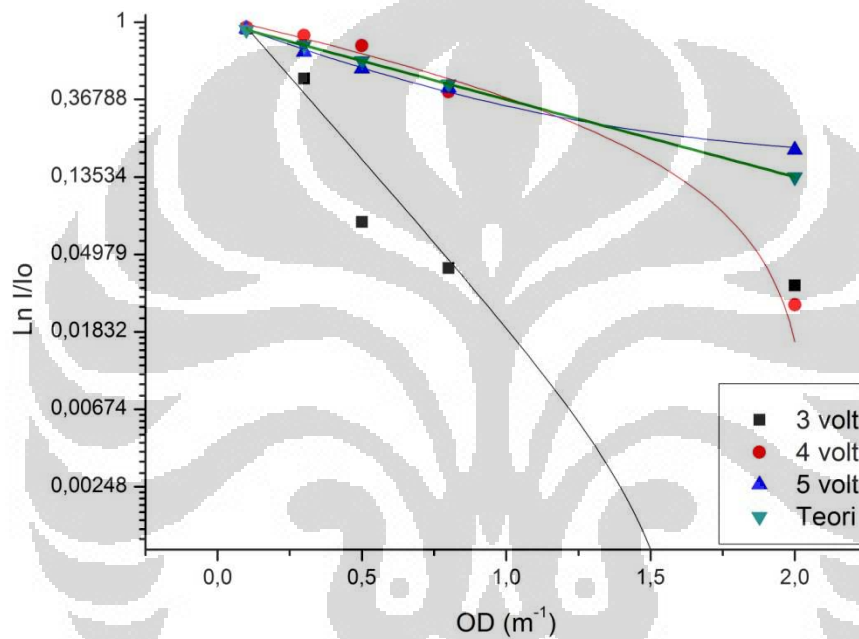
OD	Tegangan Input Laser Pointer			Teori
	3volt	4volt	5volt	
	I/I ₀			
0,1	0,82565	0,88514	0,77027	0,90484
0,3	0,14746	0,81115	0,55882	0,74082
0,5	0,07879	0,6283	0,44882	0,60653
0,8	0,04865	0,05589	0,30978	0,44933
2	0,03749	0,02484	0,14504	0,13534



Grafik Hasil Kalibrasi laser pointer untuk jarak 3m

Tabel kalibrasi laser pointer untuk jarak 4m

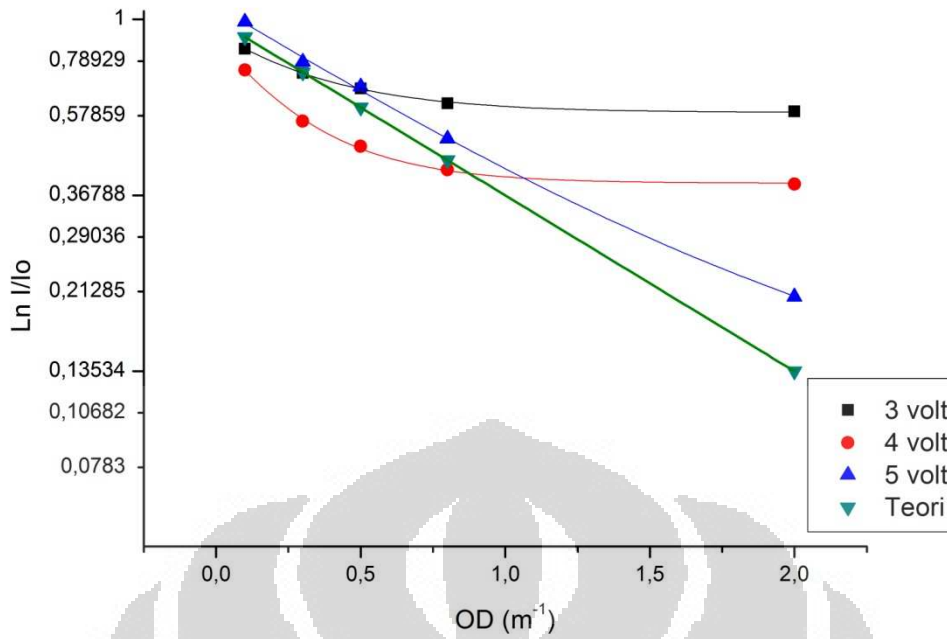
OD	Tegangan Input Laser Pointer			Teori
	3volt	4volt	5volt	
	I/Io			
0,1	0,91791	0,9331	0,9186	0,90484
0,3	0,48172	0,84127	0,68103	0,74082
0,5	0,07579	0,73816	0,54861	0,60653
0,8	0,04176	0,40644	0,42703	0,44933
2	0,03337	0,02598	0,19175	0,13534



Grafik Hasil Kalibrasi laser pointer untuk jarak 4m

Tabel kalibrasi laser pointer untuk jarak 5m

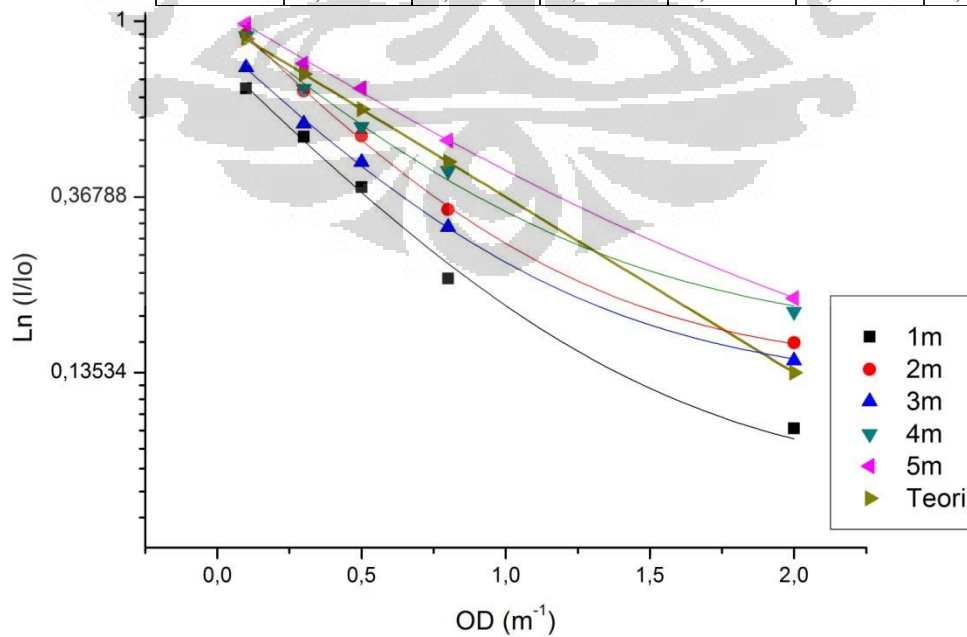
OD	Tegangan Input Laser Pointer			Teori
	3volt	4volt	5volt	
	I/Io			
0,1	0,84655	0,7497	0,98592	0,90484
0,3	0,73834	0,56107	0,78652	0,74082
0,5	0,67579	0,48605	0,68293	0,60653
0,8	0,62061	0,42564	0,50725	0,44933
2	0,59271	0,39206	0,20679	0,13534



Grafik Hasil Kalibrasi laser pointer untuk jarak 5m

Tabel hasil bacaan sensor dengan variasi jarak untuk tegangan input 5volt

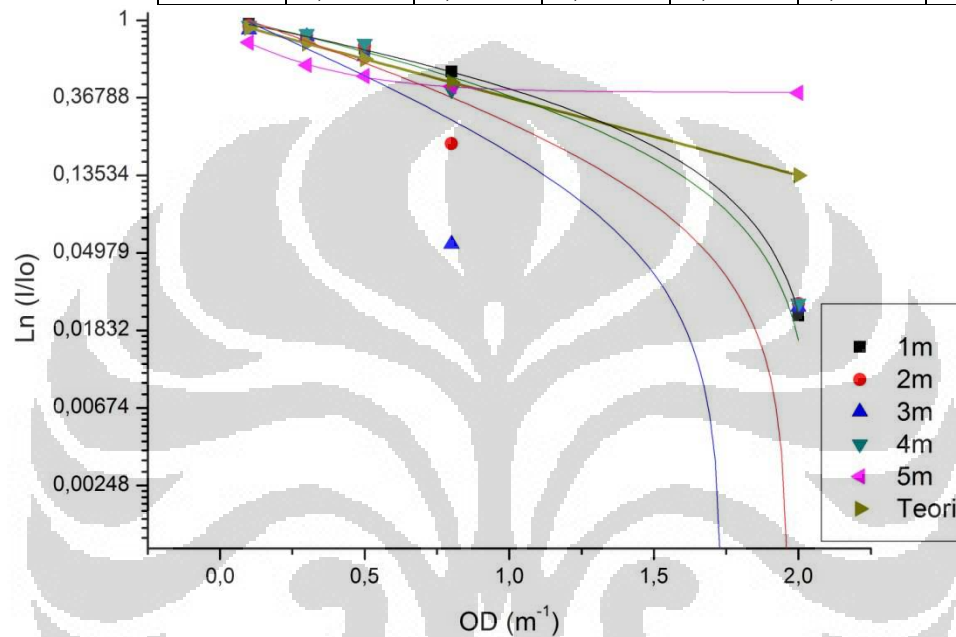
OD	Jarak (m)					Teori
	1	2	3	4	5	
	I/Io					
0,1	0,68293	0,92727	0,77027	0,9186	0,98592	0,90484
0,3	0,51852	0,67194	0,55882	0,68103	0,78652	0,74082
0,5	0,38889	0,52041	0,44882	0,54861	0,68293	0,60653
0,8	0,2314	0,34228	0,30978	0,42703	0,50725	0,44933
2	0,09859	0,16043	0,14504	0,19175	0,20679	0,13534



Grafik hasil bacaan sensor dengan variasi jarak untuk tegangan input 5volt

Tabel hasil bacaan sensor dengan variasi jarak untuk tegangan input 4volt

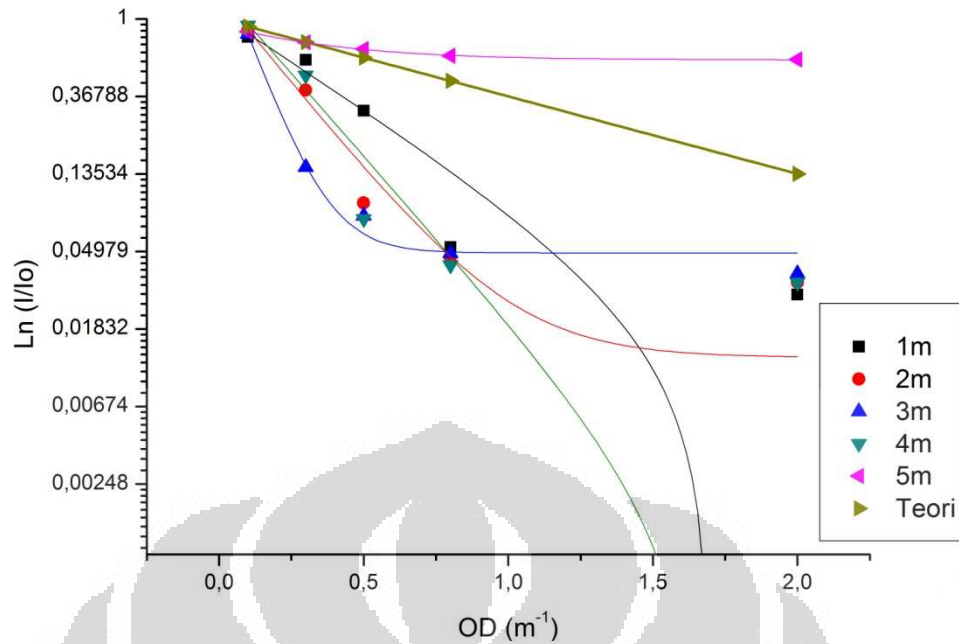
OD	Jarak (m)					Teori
	1	2	3	4	5	
	I/Io					
0,1	0,9561	0,92982	0,88514	0,9331	0,7497	0,90484
0,3	0,79032	0,82222	0,81115	0,84127	0,56107	0,74082
0,5	0,69258	0,71913	0,6283	0,73816	0,48605	0,60653
0,8	0,51579	0,20399	0,05589	0,40644	0,42564	0,44933
2	0,02214	0,02587	0,02484	0,02598	0,39206	0,13534



Grafik hasil bacaan sensor dengan variasi jarak untuk tegangan input 4volt

Tabel hasil bacaan sensor dengan variasi jarak untuk tegangan input 3volt

OD	Jarak (m)					Teori
	1	2	3	4	5	
	I/Io					
0,1	0,79037	0,86256	0,82565	0,91791	0,84655	0,90484
0,3	0,58861	0,39825	0,14746	0,48172	0,73834	0,74082
0,5	0,30592	0,09324	0,07879	0,07579	0,67579	0,60653
0,8	0,05264	0,04597	0,04865	0,04176	0,62061	0,44933
2	0,02854	0,03347	0,03749	0,03337	0,59271	0,13534



Grafik hasil bacaan sensor dengan variasi jarak untuk tegangan input 3volt

Tabel hasil kalibrasi laser pointer

Jarak (m)	Tegangan (volt)	y0	Error	A	Error	R0	Error
1	3	-0,01851	0,09922	1,07479	0,15984	-2,40024	0,8124
	4	-0,67588	0,20794	1,69686	0,19459	-0,44369	0,08648
	5	0,07087	0,02585	0,73896	0,03165	-1,75754	0,19538
2	3	0,01268	0,04271	1,36165	0,13986	-4,61073	0,85909
	4	-0,12793	0,35455	1,26254	0,31305	-1,16373	0,86049
	5	0,13723	0,01307	0,95203	0,01701	-1,87989	0,0844
3	3	0,04888	0,00914	2,13327	0,17377	-10,1063	0,83269
	4	-0,08678	0,32284	1,23598	0,34827	-1,52905	1,19588
	5	0,12465	0,01686	0,76532	0,02089	-1,78001	0,12531
4	3	-0,00135	0,07792	1,43287	0,22696	-4,24733	1,26856
	4	-0,38769	0,50305	1,44981	0,44276	-0,63913	0,42016
	5	0,1624	0,03464	0,87323	0,03893	-1,6003	0,19385
5	3	0,58931	0,00435	0,34164	0,00803	-2,8011	0,14281
	4	0,39438	0,00647	0,50409	0,0151	-3,54947	0,2149
	5	0,09433	0,04349	0,98549	0,03727	-1,08252	0,12113

2. Perhitungan Nilai *Smoke Conversion Factor*

No	Massa Kertas (gr)			Volume	Length	I/Io	OD	Massa asap	m	K	ϵ
	awal	sisia	burn								
1	1,49	0,3	1,19	0,178	3	0,0059	2,0359	0,0138	0,0780	0,6786	0,0116
2	1	0,23	0,77	0,178	3	0,0169	2,0114	0,0137	0,0770	0,6704	0,0178
3	0,5	0,12	0,38	0,178	3	0,1043	1,8164	0,0123	0,0695	0,6054	0,0325
4	1,5	0,34	1,16	0,089	1,5	0,0029	2,0425	0,0139	0,1565	1,3617	0,0120
5	0,99	0,23	0,76	0,089	1,5	0,0037	2,0406	0,0139	0,1563	1,3604	0,0183
6	0,5	0,11	0,39	0,089	1,5	0,1492	1,7155	0,0117	0,1314	1,1437	0,0300
7	1,49	0,3	1,19	0,178	0,33	0,4838	0,8130	0,0504	0,2832	2,4638	0,0423
8	1	0,23	0,77	0,178	0,33	0,4925	0,7940	0,0492	0,2765	2,4060	0,0639
9	0,5	0,12	0,38	0,178	0,33	0,7475	0,2715	0,0168	0,0945	0,8229	0,0443
10	1,5	0,34	1,16	0,089	0,33	0,3333	1,1605	0,0359	0,4042	3,5166	0,0310
11	0,99	0,23	0,76	0,089	0,33	0,3707	1,0711	0,0332	0,3730	3,2458	0,0436
12	0,5	0,11	0,39	0,089	0,33	0,6033	0,5582	0,0173	0,1944	1,6917	0,0443
Rata-rata								0,0235	0,1912	1,6639	0,0326

3. *Source Code CV AVR*

Bahasa pemrograman yang dimasukkan kedalam ATmega16 menggunakan software Code Vision AVR C Compiler. Berikut adalah contoh pemrograman yang digunakan:

```
#include <mega16.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <delay.h>
#asm
    .equ __lcd_port=0x18 ;PORTB
#endasm
#include <lcd.h>
#include <stdio.h>
#define ADC_VREF_TYPE 0x40
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
delay_us(10);
ADCSRA|=0x40;
```

```
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCW;}
void main(void)
{char lcd[16];
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;
```

```
TIMSK=0x00;
UCSRA=0x00;
UCSRB=0x18;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x47;
ACSR=0x80;
SFIO=0x00;
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x84;
lcd_init(16);
while (1)
    {printf("%d \r", read_adc(0));
    delay_ms(1000);};
```

