

**PENGUKURAN SERAPAN ULTRAVIOLET PADA KACA FILM  
MENGUNAKAN SENSOR UVM-30A BERBASIS MIKROKONTROLER  
ATMEGA8535**

(Skripsi)

Oleh

Anisa Dwi Astuti



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

## ABSTRAK

### PENGUKURAN SERAPAN ULTRAVIOLET PADA KACA FILM MENGUNAKAN SENSOR UVM-30A BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA8535

Oleh

**Anisa Dwi Astuti**

Telah dilakukan penelitian pengukuran serapan ultraviolet (UV) pada kaca film. Kaca film yang digunakan adalah *Sun Protect*, *3M* dan *AG-Sun Control*, dengan tingkat kegelapan 20%, 40%, 60% dan 80%. Sampel kaca yang digunakan dengan ketebalan yang sama, yaitu 4 mm. Pengukuran serapan UV menggunakan sensor UVM-30A yang tertanam fotodiode jenis GUA-S10GD, berbasis mikrokontroler ATmega8535 sebagai pengolah data dan LCD 16 x 2 untuk menampilkan data. Sumber UV yang digunakan adalah LED UV 395 nm dengan kepala LED datar. Pengukuran dilakukan dengan meletakkan sampel kaca film diantara sensor dan LED UV dimana jarak antara sensor dengan LED UV sejauh 6 mm pada kotak terisolasi berukuran 5,5 cm x 4 cm x 8 cm. Besar serapan kaca merupakan kemampuan kaca dalam menghambat UV. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa serapan terkecil pada kaca film *Sun Protect* pada tingkat kegelapan 20% dengan rata-rata serapan yaitu 20,045%. Sedangkan serapan UV yang paling besar pada kaca film *Sun Protect* dengan tingkat kegelapan 80% dengan rata-rata serapan yaitu 75,872%.

**Kata kunci:** kaca film, LED UV, sensor UVM-30A, serapan.

## **ABSTRACT**

### **MEASUREMENTS OF ULTRAVIOLET ABSORPTIONS ON WINDOW FILMS USING UVM-30A SENSOR BASED ON MICROCONTROLLER ATMEGA8535**

**By**

**Anisa Dwi Astuti**

*The research has been conducted measuring absorption of ultraviolet on window films. Window film used is Sun Protect, 3M and AG-Sun Control by the darkness of 20%, 40%, 60% and 80%. Samples of glass used with a thickness of 4 mm. Measurements using UVM-30A sensors embedded photodiode types GUVA-S10GD. It based on microcontroller ATmega8535 as data processing and 16 x 2 LCD to display data. Ultraviolet source used is 395 nm UV LED with LED flat top. Measurements were made with the distance between the UV LED with a sensor by 6 mm in the insulated box measuring 5.5 cm x 4 cm x 8 cm. The absorption of the glass is a glass ability to inhibit the ultraviolet. The measurement results show that the absorption the smallest on the Sun Protect films on the darkness level of 20% with an average absorption that is 20.045%. While most large UV absorption at Sun Protect films by the darkness of 80% with an average absorption that is 75.872%.*

**Keyword:** *absorption, UV LED, UVM-30A sensor, window films.*

**PENGUKURAN SERAPAN ULTRAVIOLET PADA KACA FILM  
MENGUNAKAN SENSOR UVM-30A BERBASIS MIKROKONTROLER  
ATMEGA8535**

Oleh

**ANISA DWI ASTUTI**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar  
SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

Judul Skripsi

: **PENGUKURAN SERAPAN ULTRAVIOLET PADA  
KACA FILM MENGGUNAKAN SENSOR UVM-30  
BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA8535**

Nama Mahasiswa

: **Anisa Dwi Astuti**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1117041003**

Jurusan

: **Fisika**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

**Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**

**NIP.19650407.199111.1.001**

**Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**

**NIP.19801010.200501.1.002**

**2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA**

**Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.**

**NIP.19710909.200012.1.001**

**MENGESAHKAN**

1. **Tim Penguji**

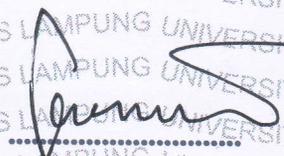
**Ketua**

**: Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



**Sekretaris**

**: Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



**Penguji**

**Bukan Pembimbing : Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**



2. **Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A.**

**NIP. 19710212 199512 1 001**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 08 Februari 2017**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya orang lain sepanjang pengetahuan saya, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya juga menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri. Jika pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 1 Februari 2017



Anisa Dwi Astuti  
NPM.1117041003

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Anisa Dwi Astuti, dilahirkan di Karang Endah, 2 Desember 1992, anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Marjuki dan Sulis Setiowati. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK 'Aisyiyah Bustanul Athfal pada tahun 1999. Kemudian melanjutkan pendidikan di SDIT Insan Kamil hingga tahun 2005. Selanjutnya menyelesaikan pendidikan menengah di SMPN 3 Terbanggi Besar pada tahun 2008 dan SMAN 1 Terbanggi Besar pada tahun 2011. Penulis diterima sebagai mahasiswa jurusan Fisika FMIPA di Universitas Lampung pada tahun 2011 melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum Fisika Dasar I, Pemrograman Komputer, Elektronika Dasar I, Mikrokontroler, Fisika Inti dan Sistem Digital. Penulis juga aktif dalam organisasi HIMAFI sebagai Sekretaris Biro KRT periode 2012-2013 dan Bendahara Umum periode 2013-2014. Selain itu, penulis juga pernah terdaftar di keanggotaan BEM FMIPA (2012-2013) dan Rohani Islam FMIPA (2012-2013). Tahun 2014 penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di RSUD dr. H. Abdul Moeloek dengan judul "Penggunaan Drop Sensor dengan Sistem *Optocoupler* pada *Infusion Pump* TE-112 sebagai Pengendali Tetes Infus di RSUD dr. H. Abdul Moeloek Provinsi Lampung".

## **ALHAMDULILLAHIROBBIL'ALAMIN**

Kupersembahkan karya sederhana ini untuk kedua orang tua tercinta

### **BAPAK MARJUKI DAN IBU SULIS SETIOWATI**

Dua orang terhebat dalam hidupku, karena mereka yang tak henti memberi dukungan, menjadi contoh dan memberi pelajaran hidup yang baik, mencurahkan segala kasih sayang melalui berbagai cara yang membuatku takkan pernah lupa. Terima kasih, ma, pa.

### **Mamasku M. Nurcholis dan adikku Imam Syafii**

Dua lelaki yang membuatku istimewa karena aku terlahir diantara mereka. Terima kasih atas dukungan dan perhatiannya.

*untuk para sahabat yang memberi warna dalam hidupku*

### **UNTUK DOSEN-DOSENKU YANG SELALU MEMBIMBINGKU**

### **Dan untuk almamater tercinta UNIVERSITAS LAMPUNG**

## MOTTO

“Hanya kepada Engkaulah kami menyembah, dan hanya kepada Engkaulah kami mohon pertolongan” (**Q.S. Al Fatihah: 5**)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan” (**Q.S. Asy-Syarah: 6**)

“Semua akan indah pada waktunya. Kalau belum indah, itu berarti belum waktunya”

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, berkat rahmat dan hidayahNya penulis dapat mengakhiri studi pada tingkat Strata-1 (S1) ini dengan menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengukuran Serapan Ultraviolet pada Kaca Film Menggunakan Sensor UVM-30A berbasis Mikrokontroler ATmega8535”** sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Fisika Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Shalawat beserta salam kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, para sahabat dan pengikutnya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk dapat menyajikan informasi sehingga menambah pengetahuan bagi pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat menjadi rujukan penelitian berikutnya.

Bandar Lampung, 1 Februari 2017

Penulis

## SANWACANA

Alhamdulillahirabbil 'alamin. Penyusunan skripsi ini tidak luput dari bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua, Bapak Marjuki dan Ibu Sulis, yang telah memberikan dukungan finansial dan doa yang terbaik untuk penulis;
2. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. sebagai Pembimbing I sekaligus Pembimbing Akademik, yang telah memberikan bimbingan dari awal perkuliahan hingga menyelesaikan skripsi;
3. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. sebagai Pembimbing II sekaligus Sekretaris Jurusan Fisika, yang telah memberikan nasehat dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi;
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. sebagai Penguji sekaligus Ketua Jurusan Fisika, yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun untuk menyelesaikan skripsi;
5. Bapak Prof. Warsito, D.E.A. selaku Dekan FMIPA Unila;
6. Rekan seperjuangan : gana, fahad, fathul, izal, yuri, sammi, yuni, puji, nika, nur, umir, mba nai, mba rin, dek sun, umil, vivi, vao, dan adik tingkat : iqbal, randha, qory, jay, tiwi, tami, triana, agung serta pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga Allah memberi balasan atas kebaikan yang telah dilakukan oleh berbagai pihak yang telah membantu penulis agar skripsi ini dapat selesai dan bermanfaat bagi pembaca. Aamiin.

Bandar Lampung, 1 Februari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                       | halaman      |
|---------------------------------------|--------------|
| <b>ABSTRAK</b> .....                  | <b>i</b>     |
| <b>ABSTRACT</b> .....                 | <b>ii</b>    |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....        | <b>iii</b>   |
| <b>PERNYATAAN</b> .....               | <b>vi</b>    |
| <b>RIWAYAT HIDUP</b> .....            | <b>vii</b>   |
| <b>PERSEMBAHAN</b> .....              | <b>viii</b>  |
| <b>MOTTO</b> .....                    | <b>ix</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....           | <b>x</b>     |
| <b>SANWACANA</b> .....                | <b>xi</b>    |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....               | <b>xiii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....            | <b>xv</b>    |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....             | <b>xviii</b> |
| <br>                                  |              |
| <b>I. PENDAHULUAN</b>                 |              |
| A. Latar Belakang.....                | 1            |
| B. Rumusan Masalah.....               | 5            |
| C. Batasan Masalah.....               | 6            |
| D. Tujuan Penelitian.....             | 7            |
| E. Manfaat Penelitian.....            | 7            |
| <br>                                  |              |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>           |              |
| A. Penelitian Terkait Sebelumnya..... | 8            |
| B. Kaca Film.....                     | 9            |
| C. Cahaya.....                        | 13           |
| 1. Pemantulan Cahaya.....             | 16           |
| 2. Pembiasan Cahaya.....              | 17           |

|   |    |
|---|----|
| 3. Transmisi.....                           | 18 |
| 4. Absorpsi.....                            | 18 |
| D. Ultraviolet.....                         | 19 |
| E. Fotodiode.....                           | 22 |
| F. Mikrokontroler ATmega8535.....           | 23 |
| G. Penguat Tegangan.....                    | 30 |
| H. <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD)..... | 33 |

### III. METODE PENELITIAN

|   |    |
|---|----|
| A. Waktu dan Tempat Penelitian.....             | 36 |
| B. Alat dan Bahan.....                          | 36 |
| C. Prosedur Penelitian.....                     | 38 |
| 1. Perancangan <i>Hardware</i> .....            | 39 |
| a. Rangkaian Catudaya.....                      | 40 |
| b. Rangkaian Sensor.....                        | 41 |
| c. Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler..... | 41 |
| d. Rangkaian LCD.....                           | 42 |
| 2. Perancangan <i>Software</i> .....            | 43 |
| D. Metode Analisis.....                         | 44 |

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

|   |    |
|---|----|
| A. Realisasi Alat.....  | 48 |
| B. Pengujian <i>Hardware</i> .....                            | 51 |
| 1. Pengujian Rangkaian Catudaya.....                          | 51 |
| 2. Pengujian Rangkaian Sensor.....                            | 51 |
| 3. Pengujian Sistem Minimum Mikrokontroler<br>ATmega8535..... | 60 |
| 4. Pengujian Rangkaian LCD.....                               | 61 |
| C. Pengujian <i>Software</i> .....                            | 63 |
| D. Pengujian Sampel dan Analisis Data.....                    | 69 |
| 1. Pengujian Serapan UV pada Kaca Bening.....                 | 71 |
| 2. Pengujian Serapan UV pada Kaca Film Sun Protect.....       | 73 |
| 3. Pengujian Serapan UV pada Kaca Film 3M.....                | 75 |
| 4. Pengujian Serapan UV pada Kaca Film AG-Sun Control..       | 77 |
| 5. Analisis dan Hasil Pengujian.....                          | 79 |

### V. KESIMPULAN DAN SARAN

|                    |    |
|--------------------|----|
| A. Kesimpulan..... | 83 |
| B. Saran.....      | 84 |

### DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar |   | halaman |
|--------|---|---------|
| 2.1.   | Tingkat kegelapan kaca film.....                                  | 11      |
| 2.2.   | Pelapisan film pada kaca mobil.....                               | 13      |
| 2.3.   | Spektrum Elektromagnetik.....                                     | 14      |
| 2.4.   | Pemantulan Cahaya.....  | 16      |
| 2.5.   | Pembengkokan cahaya.....  | 17      |
| 2.6.   | Hubungan radiasi UV terhadap kemungkinan terjadinya penyakit..... | 20      |
| 2.7.   | Fotodioda.....  | 22      |
| 2.8.   | Hubungan keluaran fotodioda dengan intensitas cahaya.....         | 23      |
| 2.9.   | IC Mikrokontroler ATMega8535.....                                 | 25      |
| 2.10.  | Arsitektur ATMega8535.....  | 26      |
| 2.11.  | Blok diagram ATMega8535.....                                      | 27      |
| 2.12.  | Konfigurasi pin ATMega8535.....                                   | 28      |
| 2.13.  | Simbol op-amp.....  | 31      |
| 2.14.  | Rangkaian penguat inverting.....                                  | 32      |
| 2.15.  | LCD 16x2.....   | 34      |
| 3.1.   | Diagram alir penelitian.....                                      | 38      |
| 3.2.   | Diagram Blok Perancangan <i>Hardware</i> .....                    | 39      |
| 3.3.   | Rancangan Alat.....   | 40      |

|   |    |
|---|----|
| 3.4. Rangkaian Catudaya.....  | 41 |
| 3.5. Rangkaian Fotodiode.....   | 41 |
| 3.6. Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler.....   | 42 |
| 3.7. Rangkaian LCD.....   | 42 |
| 3.8. Diagram Alir Perancangan <i>Software</i> .....   | 43 |
| 3.9. Grafik Hubungan tegangan terhadap intensitas ultraviolet.....                                  | 46 |
| 3.10. Tampilan Data pada LCD.....   | 47 |
| 4.1. Rangkaian alat pengukuran serapan UV pada kaca film.....                                       | 48 |
| 4.2. LED UV.....  | 49 |
| 4.3. Bentuk fisik UVM-30A.....  | 49 |
| 4.4. Letak sensor dan LED UV.....   | 50 |
| 4.5. Grafik respon sensor terhadap jarak.....   | 53 |
| 4.6. Pengujian intensitas LED UV.....   | 54 |
| 4.7. Pengukuran Intensitas dengan luxmeter.....   | 54 |
| 4.8. Grafik tegangan terhadap intensitas UV.....  | 56 |
| 4.9. Grafik intensitas UV terhadap tegangan.....  | 57 |
| 4.10. Pengujian UV dari matahari.....   | 58 |
| 4.11. Tampilan pengujian LCD.....   | 63 |
| 4.12. Simulasi program dengan AVR Simulator.....  | 67 |
| 4.13. Simulasi dengan Proteus ISIS.....   | 68 |
| 4.14. Tampilan awal AVRDUDESS.....  | 69 |
| 4.15. Tampilan LCD data awal.....   | 70 |
| 4.16. Grafik hubungan tegangan sensor terhadap tingkat kegelapan kaca film Sun <i>Protect</i> ..... | 74 |

|  |    |
|--|----|
| 4.17. Grafik hubungan serapan terhadap tingkat kegelapan kaca film Sun <i>Protect</i> .....            | 75 |
| 4.18. Grafik hubungan tegangan sensor terhadap tingkat kegelapan kaca film <i>3M</i> .....             | 76 |
| 4.19. Grafik hubungan serapan terhadap tingkat kegelapan kaca film <i>3M</i> .....                     | 77 |
| 4.20. Grafik hubungan tegangan sensor terhadap tingkat kegelapan kaca film <i>AG-Sun Control</i> ..... | 78 |
| 4.21. Grafik hubungan serapan terhadap tingkat kegelapan kaca film <i>AG-Sun Control</i> .....         | 79 |
| 4.22. Grafik Serapan UV pada kaca Film.....  | 82 |

## DAFTAR TABEL

| Tabel   | halaman |
|---|---------|
| 2.1. Jenis Ultraviolet berdasarkan panjang gelombang.....   | 19      |
| 2.2. Deskripsi PORT A.....  | 28      |
| 2.3. Deskripsi PORT B.....  | 29      |
| 2.4. Deskripsi PORT C.....  | 30      |
| 2.5. Deskripsi PORT D.....  | 30      |
| 2.6. Fungsi pin pada LCD.....   | 35      |
| 3.1. Pengujian Intensitas LED ultraviolet.....  | 44      |
| 3.2. Pengamatan Uji Karakteristik Sensor.....   | 46      |
| 3.3. Pengamatan Serapan Ultraviolet terhadap berbagai jenis kaca film berdasarkan tingkat kegelapannya..... | 47      |
| 4.1. Pengujian rangkaian catudaya.....  | 51      |
| 4.2. Pengamatan respon sensor terhadap LED UV berdasarkan jarak.....  | 52      |
| 4.3. Hasil Pengujian Intensitas LED UV.....   | 55      |
| 4.4. Hasil pengujian intensitas LED UV dengan respon tegangan rata-rata.....                                | 56      |
| 4.5. Pengamatan respon sensor terhadap matahari.....  | 59      |
| 4.6. Indeks UV.....   | 59      |
| 4.7. Konfigurasi pin LCD.....   | 62      |
| 4.8. Pengujian Serapan UV pada kaca bening.....   | 71      |
| 4.9. Pengujian Serapan UV pada kaca film <i>Sun Protect</i> .....   | 73      |

|   |    |
|---|----|
| 4.10. Pengujian Serapan UV pada kaca film <i>3M</i> .....             | 75 |
| 4.11. Pengujian Serapan UV pada kaca film <i>AG-Sun Control</i> ..... | 77 |
| 4.12. Hasil Pengujian Serapan UV pada Kaca Film.....                  | 81 |

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Matahari merupakan sumber energi alami yang memancarkan energi melalui berbagai spektrum panjang gelombang, baik pada spektrum cahaya tampak maupun tidak tampak oleh mata manusia. Salah satu contoh cahaya yang tidak tampak oleh mata manusia adalah ultraviolet (UV). Ultraviolet memiliki panjang gelombang lebih pendek namun energinya lebih besar dibandingkan dengan cahaya tampak yang dapat dilihat oleh manusia. Panjang gelombang ultraviolet berada pada range 10 nm sampai dengan 400 nm. Adapun klasifikasi ultraviolet berdasarkan range panjang gelombangnya terdiri dari UV-A pada 315 nm – 400nm, UV-B pada 280 nm - 315 nm, UV-C pada 200 nm – 280 nm, dan UV Vakum pada 10 nm – 200 nm (Birtalan and William, 2009).

Menurut *United States Environmental Protection Agency* (2010), ultraviolet memiliki dampak positif dan negatif. Ditinjau dari sisi positif, ultraviolet dapat membantu memproduksi vitamin D yang berfungsi memperbaiki kandungan kalsium pada tulang. Namun bila ditinjau dari sisi negatifnya, paparan atau radiasi ultraviolet yang berlebihan dapat menyebabkan kanker kulit, katarak, kerusakan sistem imun, penuaan kulit dan lain-lain.

Perubahan yang terjadi akibat terpapar sinar matahari terus – menerus dalam waktu lama dengan intensitas sinar matahari kuat (radiasi ultravioletnya tinggi) disebut *dermatoheliosis* atau *photoaging*. Perubahan ini termasuk dalam penuaan ekstrinsik. Penuaan ekstrinsik (penuaan karena faktor luar) berbeda dengan penuaan intrinsik (penuaan karena bertambahnya usia). Penuaan secara ekstrinsik dapat disebabkan oleh faktor makanan, polusi, udara, cuaca dan angin (Gilchrest, *et al.* 1982).

Radiasi ultraviolet mengakibatkan radikal bebas pada kulit yang dapat menghalangi difusi zat nutrisi, menonaktifkan enzim, mengoksidasi lemak (dalam sel, membran sel dan antar sel) dan memecah DNA sehingga dapat membantu timbulnya keadaan prakanker (Balin and Allen, 1986). Radikal bebas dapat dinetralkan oleh antioksidan yang terdapat dalam tubuh, yaitu enzim katalase, glutathion peroksidase, superoksida dismutase dan zat nonenzim seperti vitamin E, vitamin C, beta karoten, vitamin A, metionin, selenium dan tirosin (Hallwell and Gutteridge, 1985). Namun, apabila kulit terkena radiasi ultraviolet terus – menerus dalam waktu lama, antioksidan hanya dapat menetralkan sebagian kecil radikal bebas saja. Hal ini berarti radikal bebas yang tidak dinetralkan dalam tubuh semakin lama akan semakin banyak sehingga dapat merusak kulit.

Untuk menghindari efek negatif dari radiasi ultraviolet yang berlebihan tersebut, banyak cara yang ditempuh oleh manusia. Sebagai contoh, salah satu cara melindungi diri dari radiasi ultraviolet adalah dengan memasang kaca film pada mobil agar tetap aman dalam mobil tanpa khawatir terpapar ultraviolet. Kaca film dapat menolak atau mengurangi radiasi ultraviolet yang masuk ke dalam mobil.

Penggunaan kaca film kini tidak hanya pada mobil, namun kaca film juga digunakan pada bangunan atau gedung.

Kaca film adalah kaca yang dilapisi dengan lapisan tipis (film). Saat ini kaca film banyak digunakan pada mobil sebagai pelindung dari paparan atau radiasi sinar matahari yang mengandung ultraviolet. Radiasi ultraviolet yang berlebihan pada manusia dapat mengakibatkan kerusakan jaringan, seperti misalnya dapat menyebabkan kulit terbakar, kanker kulit hingga deformasi sel.

Secara umum, fungsi kaca film menurut Admindri (2013) adalah mengurangi cahaya matahari yang masuk sehingga mengurangi panas dalam mobil atau dalam ruangan; meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar karena penggunaan pendingin berkurang seiring berkurangnya panas dalam ruangan; menambah nilai estetika karena kaca film dapat dibuat dengan berbagai motif dan warna sehingga kaca film tidak hanya digunakan pada mobil, namun pada bangunan atau gedung; meningkatkan privasi pengguna karena kaca ini memiliki daya tembus satu arah, yaitu tampak (tembus pandang) bila dilihat dari satu sisi namun tidak tampak bila dilihat dari sisi sebaliknya, sehingga dapat mengurangi tindak kejahatan; serta sebagai piranti keamanan karena bila terjadi keretakan, kaca film yang berbahan *polyster*, logam dan perekat khusus dapat mempertahankan kaca agar tidak mudah pecah.

Penelitian mengenai penyerapan sinar matahari oleh kaca film terhadap daya keluaran plat panel surya telah dilakukan Mahindra (2015). Penelitian dilakukan dengan menganalisis besar tegangan yang diterima plat panel surya yang terhalang kaca film dengan variasi gelap kaca film sebesar 40%, 60% dan 80%.

Hasil penelitian menunjukkan tegangan keluaran plat panel surya terbesar dihasilkan dengan menggunakan penghalang kaca film dengan tingkat kegelapan 60%, yaitu sebesar 18,57 volt. Sedangkan tegangan keluaran terkecil dihasilkan dengan menggunakan penghalang kaca film dengan tingkat kegelapan 40%, yaitu sebesar 13,37 volt. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar tingkat kegelapan kaca yang digunakan maka semakin besar tegangan keluaran plat panel surya. Besar tegangan berbanding lurus dengan besar daya. Dengan demikian, semakin besar tingkat kegelapan kaca film yang digunakan pada plat panel surya maka semakin besar daya keluaran plat panel surya.

Untuk mengetahui besarnya intensitas ultraviolet, dibutuhkan detektor ultraviolet. Detektor ultraviolet dapat ditinjau dari beberapa faktor, diantaranya memiliki bentuk radiasi temporal dan resolusi temporal; jangkauan dinamis radiasi yang lebar; sensitivitas panjang gelombang yang baik; serta daya tahan detektor yang baik. Dari pemaparan tersebut dapat diperoleh 4 jenis detektor yang memenuhi faktor tersebut dan telah banyak digunakan, yaitu detektor *pyroelectric*, *thermopiles*, *photomultiplier tubes* dan fotodioda. Fotodioda merupakan pilihan terbaik dalam mendeteksi pulsa radiasi pada resolusi temporal tinggi (lebih dari 1 ns) dan jangkauan dinamis yang lebar (Misra and Mark, 2002). Fotodioda merupakan salah satu sensor cahaya (*optic*). Prinsip kerja fotodioda adalah mengubah cahaya (foton) menjadi elektron yang mengisi pasangan lubang elektron pada sambungan p-n sehingga menghasilkan arus. Fotodioda memiliki tingkat pengukuran yang sangat baik terbukti dengan energi kurang dari  $1 \text{ nJ/cm}^2$  hingga ratusan  $\mu\text{J/cm}^2$  pun dapat diukur (Fraden, 2004).

Respon atau tanggapan keluaran fotodioda sebagai detektor ultraviolet kemudian akan digunakan sebagai masukan pada sistem pengolahan data maupun sistem pengendalian data. Sebuah sistem pengolahan data berbasis mikrokontroler telah banyak digunakan pada proyek sederhana baik dari pengendalian skala penelitian yang sifatnya relatif sederhana maupun pengendalian skala industri yang lebih kompleks. Mikrokontroler hanya dapat mengolah data digital, sehingga input analog dari sistem yang masuk ke mikrokontroler akan dikonversi dalam bentuk data digital dengan *Analog to Digital Converter* (ADC) internal 10 bit yang terdapat pada mikrokontroler ATmega8535.

Berdasarkan referensi mengenai dampak negatif radiasi ultraviolet yang berlebihan pada manusia dan sistem pendeteksi ultraviolet, maka dilakukan perancangan alat untuk mengetahui kualitas kaca film sebagai media untuk mengurangi radiasi ultraviolet berdasarkan nilai serapannya terhadap ultraviolet. Sumber ultraviolet yang digunakan pada perancangan alat ini adalah LED Ultraviolet. Ultraviolet tersebut akan diterima oleh fotodioda jenis GUVVA-S10GD yang ditanam pada sensor UVM-30A sebagai pendeteksi ultraviolet dan memberikan respon tegangan. Respon tegangan dari fotodioda masuk ke mikrokontroler ATmega8535 sebagai pengolah data akan dikonversi dalam bentuk nilai serapan. Nilai serapan tersebut kemudian akan ditampilkan pada *Liquid Crystal Display* (LCD).

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan pemaparan latar belakang tersebut dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana hubungan respon tegangan sensor UVM-30A berdasarkan jarak antara sensor dengan LED ultraviolet.
2. Bagaimana cara mengetahui nilai serapan ultraviolet pada kaca film menggunakan sensor UVM-30A.
3. Berapa nilai intensitas LED ultraviolet yang digunakan sebagai sumber ultraviolet.
4. Apa yang mempengaruhi nilai serapan ultraviolet yang menembus kaca film tersebut.
5. Berapa nilai serapan ultraviolet pada kaca film berdasarkan tingkat kegelapan dan merk kaca film.
6. Bagaimana pengolahan data serapan kaca film menggunakan mikrokontroler ATmega8535 dan menampilkan data pada LCD.

### **C. Batasan Masalah**

Berikut ini adalah batasan masalah pada penelitian ini.

1. Perancangan alat ukur serapan ultraviolet pada kaca film menggunakan LED ultraviolet 395 nm sebagai sumber ultraviolet dan sensor UVM-30A sebagai pendeteksi ultraviolet.
2. Pengukuran serapan ultraviolet pada kaca film dilakukan dengan jarak yang tetap antara LED ultraviolet dan sensor UVM-30A.
3. Sistem akuisisi data menggunakan mikrokontroler ATmega8535 melalui port A sebagai input ADC.
4. Menggunakan *Liquid Crystal Display* (LCD) 16 x 2 untuk menampilkan data keluaran meliputi besar tegangan awal (antara sensor dan LED UV tidak ada penghalang), tegangan sensor UVM-30A dan nilai serapan kaca film.

#### **D. Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah

1. menganalisis respon atau tanggapan sensor UVM-30A terhadap ultraviolet yang menembus kaca film;
2. mengetahui nilai serapan ultraviolet yang menembus berbagai jenis kaca film;
3. merealisasikan alat ukur serapan ultraviolet pada kaca film menggunakan sensor UVM-30A berbasis mikrokontroler ATmega8535.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat dilakukan penelitian ini adalah

1. mengetahui tanggapan sensor UVM-30A terhadap ultraviolet yang menembus kaca film;
2. terealisasinya sebuah alat ukur serapan ultraviolet pada kaca film menggunakan sensor UVM-30A berbasis mikrokontroler ATmega8535 dengan output data yang ditampilkan pada LCD 16 x 2;
3. mengetahui kualitas kaca film yang baik bila ditinjau dari nilai daya serapnya sehingga mampu meredam atau mengurangi intensitas ultraviolet.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terkait Sebelumnya

Penelitian terkait mengenai serapan cahaya pada kaca telah dilakukan oleh Nasution (2015) dengan menggunakan sumber cahaya berupa cahaya infra merah yang berasal dari LED infra merah yang melewati kaca transparan berwarna dengan sensor fotodiode sebagai detektor cahaya. Adapun sampel kaca yang digunakan adalah kaca bening, kaca berwarna hitam, biru dan hijau.

Penelitian tersebut dilakukan dengan meletakkan sampel kaca diantara sensor fotodiode dan LED infra merah. Sensor fotodiode yang merupakan sensor cahaya (*optic*) akan menerima cahaya infra merah yang melewati kaca sampel sehingga memberikan respon keluaran analog berupa tegangan sebagai input data ke mikrokontroler ATmega8535. Tegangan keluaran dari sensor fotodiode terlalu kecil sehingga tegangan diperkuat menggunakan IC LM324. Pada mikrokontroler, tegangan tersebut dikonversi menjadi data digital untuk pengolahan data nilai intensitas dan serapan kaca sampel. Hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan sampel kaca bening, kaca hitam, kaca biru dan kaca hijau dengan variasi ketebalan masing-masing 2 mm, 3 mm, 5 mm dan 8 mm menunjukkan bahwa kaca hijau dengan ketebalan 8 mm memiliki penyerapan terbesar, yaitu 20,848%. Sedangkan kaca bening dengan ketebalan 2 mm memiliki penyerapan terkecil, yaitu 0,029% (Nasution, 2015).

Penelitian mengenai serapan cahaya pada kaca dilakukan menggunakan prinsip yang sama seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Nasution (2015). Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian “Pengukuran Serapan Ultraviolet pada Kaca Film Menggunakan Sensor UVM-30A Berbasis Mikrokontroler ATmega8535” ini menggunakan sumber cahaya berupa LED ultraviolet (ultraviolet *visible* atau ultraviolet tampak) yang melewati berbagai jenis kaca film sebagai media penyerap sinar tersebut. Ultraviolet akan dideteksi menggunakan sensor cahaya, yaitu fotodiode jenis GUVA-S10GD yang ditanam pada UVM-30A. Cahaya yang diterima fotodiode akan menghasilkan respon tegangan yang akan menjadi data input ke mikrokontroler ATmega8535 yang kemudian akan diolah menjadi data nilai serapan kaca film. Namun respon tegangan fotodiode terlalu kecil sehingga membutuhkan penguat tegangan sebelum masuk ke mikrokontroler. Setelah tegangan dari fotodiode dikuatkan, maka mikrokontroler ATmega8535 akan mengolah data serapan ultraviolet pada kaca film dan ditampilkan ke *Liquid Crystal Display* (LCD) 16 x 2.

## **B. Kaca film**

Kaca film merupakan kaca yang terlapisi film (lapisan tipis) yang berfungsi mengurangi daya tembus cahaya dan daya tembus pandang pada kaca. Kaca film banyak digunakan pada mobil sebagai penolak sinar matahari yang mengandung ultraviolet dan infra merah yang bila radiasinya berlebihan akan membahayakan manusia. Selain itu, kaca film juga berfungsi sebagai piranti keamanan karena bila terjadi keretakan, kaca film yang berbahan *polyester*, logam dan perekat khusus dapat mempertahankan kaca agar tidak mudah pecah. Faktor keamanan yang diberikan oleh kaca film tidak hanya karena dapat mempertahankan kaca bila

terjadi keretakan, namun juga dari segi daya tembus pandang kaca tersebut. Salah satu jenis kaca film memiliki daya tembus pandang satu arah, yaitu hanya dapat terlihat dari satu sisi sedangkan sisi lainnya tidak terlihat. Sebagai contoh pada kaca film yang terpasang di mobil, bila dilihat dari sisi dalam mobil akan terlihat kondisi di luar mobil sedangkan bila dilihat dari sisi luar mobil tidak dapat melihat kondisi dalam mobil. Hal ini tentu meningkatkan keamanan pengguna mobil (Admindri, 2013).

Salah satu penggunaan kaca pada dinding luar sebuah bangunan adalah untuk mendapatkan cahaya matahari. Karena sifat kaca dapat menyerap cahaya, maka untuk penggunaan kaca tersebut tentu disesuaikan dengan kebutuhan pengguna akan cahaya matahari pada bangunan tersebut (Van der Meijs, 1983). Penggunaan kaca dengan permukaan gelap akan menyerap lebih banyak cahaya dibandingkan dengan kaca yang memiliki permukaan cerah. Sama halnya bila permukaannya kasar akan menyerap lebih banyak cahaya dibandingkan dengan permukaan licin.

Kaca merupakan material padat yang bening, transparan dan mudah pecah bila terkena benturan yang kuat. Umumnya kaca terbuat dari bahan dasar pasir kuarsa, soda abu, *dolomite*, dan lain-lain (Sidharta dan Indrawati, 2009). Pada kaca film, lapisan tipis (film) berbahan *polyster* ditambahkan pada kaca agar kaca tersebut dapat mengurangi radiasi cahaya yang mengenai kaca tersebut. *Polyster* merupakan suatu bahan kimia alami seperti kutin dari kulit ari tumbuhan, maupun zat kimia sintesis seperti *polykarbonat* dan *polybutirat* yang memiliki serat berbentuk ion yang sangat stabil dan kuat (Ichwan, dkk. 2004).

Penggunaan kaca film agar berfungsi dengan baik sesuai dengan kebutuhan dapat diklasifikasikan berdasarkan 3 poin berikut.

1. *Solar Control Film* (Kaca Film Penolak Panas)

Kaca film penolak panas ini banyak digunakan pada mobil karena dapat menolak panas matahari berdasarkan tingkat kegelapan (*darkness*), *UV Rejected* (UVR), *Total Solar Energi Rejected* (TSER), *Infra Red Rejected* (IRR) dan *Visible Light Transmittance* (VLT).

Tingkat kegelapan (*darkness*) pada kaca film dapat dilihat dari persentase kegelapannya. Semakin besar persentase kegelapan maka semakin tinggi kemampuan kaca film melindungi pengguna mobil dari sinar matahari. Umumnya, tingkat kegelapan kaca mobil bagian depan maksimum 40%. Sedangkan bagian samping diperbolehkan menggunakan tingkat kegelapan 60% hingga 80% untuk menjaga keamanan pada mobil pribadi. Tingkat kegelapan bagian kaca depan mobil hanya diperbolehkan maksimum 40% agar tidak mengganggu penglihatan pengguna sehingga kenyamanan saat berkendara ikut terjaga. Gambar 2.1 menunjukkan tingkat kegelapan kaca film yang dilihat dari dalam ruangan.



**Gambar 2.1.** Tingkat kegelapan kaca film

Pemilihan kaca film umumnya berdasarkan kemampuan kaca film tersebut menolak UV (*UV Rejected*), menolak IR (*IR Rejected*), menolak cahaya matahari yang mengandung UV dan radiasi matahari total (*Total Solar Energi Rejected*) serta kemampuan kaca film meneruskan cahaya tampak (*Visible Light Transmittance*).

2. *Decorative Film* (Kaca Film Artistik)

Kaca film artistik digunakan untuk memperindah tampilan kaca biasa digunakan pada kaca grafis.

3. *Security Film* (Kaca Film Pengaman)

Fungsi kaca film sebagai pengaman ini banyak digunakan untuk melindungi aset berharga dalam mobil atau melindungi privasi pengguna, juga dapat melindungi diri dari bahaya seperti keretakan pada kaca akibat benturan atau tembakan. Kaca film sebagai pengaman aset berharga dan menjaga privasi pengguna biasanya menggunakan kaca film dengan tingkat kegelapan tinggi antara 80% hingga 90%. Berbeda halnya dengan kaca film sebagai pengaman dari keretakan atau tembakan, kaca film yang digunakan adalah kaca film anti peluru yang biasa digunakan pada mobil dinas kepresidenan.

Merk kaca film yang telah banyak digunakan adalah Spectrum, 3M, Solargard, V-kool, Evolution, Huper Optik, Johnson, Illuminox, dan Liumar. Gambar 2.2 menunjukkan pelapisan film pada kaca mobil yang berfungsi untuk mengurangi radiasi cahaya matahari yang masuk ke dalam mobil.



**Gambar 2.2.** Pelapisan film pada kaca mobil (Kurniady, 2014)

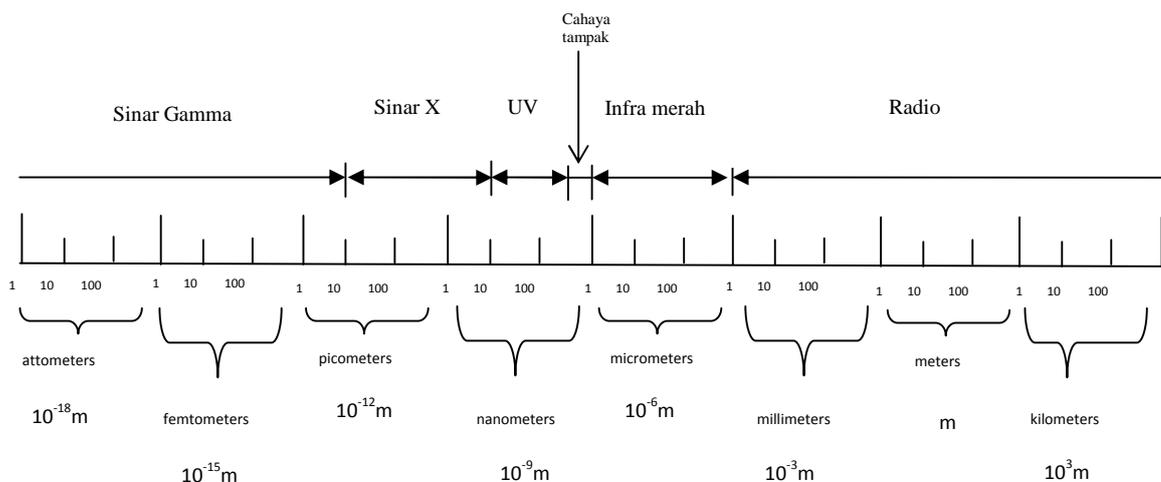
Radiasi matahari sebesar 73,5 juta watt tiap  $m^2$  pada permukaan matahari dengan jarak antara matahari dengan bumi sejauh 150 juta km (Trewartha, 1980). Radiasi yang sampai di puncak atmosfer rata-rata sebesar  $1360 \text{ Wm}^{-2}$ . Sedangkan radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi hanya setengah dari radiasi pada puncak atmosfer karena sebagian radiasi diserap dan dipantulkan kembali ke angkasa luar oleh atmosfer. Rata-rata sebesar 30% radiasi matahari yang sampai di bumi dipantulkan kembali ke angkasa luar (Wallace and Hobbs, 1977). Hal ini menunjukkan bahwa cahaya yang mengenai sebuah permukaan, sebagian cahaya akan dipantulkan dan sebagian akan diteruskan. Karena permukaan kaca film licin, maka radiasi matahari yang mengenai permukaan kaca film lebih banyak dipantulkan daripada diteruskan.

### **C. Cahaya**

Teori cahaya menurut Newton menyatakan bahwa cahaya adalah partikel-partikel atau korpuskel-korpuskel yang dipancarkan oleh sumber cahaya dan merambat menurut garis lurus dengan kecepatan besar. Teori ini dianggap benar sampai pertengahan abad ke-17 karena teori ini mampu menerangkan tentang peristiwa pemantulan dan pembiasan namun tidak dapat menerangkan peristiwa interferensi (Sears and Mark, 1987).

Kemudian pada pertengahan abad ke-17 muncul teori yang dikemukakan oleh Christian Huygens menyatakan bahwa cahaya merupakan gelombang yang berasal dari sumber bergetar yang merambat melalui medium eter yang mengisi seluruh ruangan termasuk ruang vakum. Namun teori *Huygens* akhirnya ditolak karena teori ini hanya dapat menerangkan kejadian interferensi, difraksi dan polarisasi, namun gagal menerangkan cahaya merambat pada garis lurus. Kemudian pada awal abad ke-19, Maxwell mengemukakan teori bahwa cahaya merupakan gelombang elektromagnetik.

Gelombang elektromagnetik yaitu gelombang yang terdiri dari gelombang vektor medan magnet dan listrik yang merambat tegak lurus arah medan tersebut dengan kedua medan juga saling tegak lurus (Sarojo, 2011). Dengan adanya gelombang elektromagnetik, kuat medan listrik dan kuat medan magnet di setiap tempat yang dilalui gelombang tersebut berubah-ubah terhadap waktu secara periodik dan perubahan itu dijalarkan sepanjang arah menjalarnya gelombang (Soedjo, 1998). Gelombang elektromagnetik dapat merambat tanpa medium perantara (ruang vakum). Spektrum gelombang elektromagnetik ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Spektrum Elektromagnetik (John, 1988)

Adapun yang termasuk gelombang elektromagnetik yang ditunjukkan pada gambar 2.3 adalah gelombang radio, gelombang mikro, cahaya tampak, ultraviolet, Infra merah, sinar X dan sinar gamma (John, 1988).

Kecepatan rambat  $v$  gelombang elektromagnetik di ruang vakum adalah  $3 \times 10^8$  m/s dengan besar frekuensi  $f$  berbanding terbalik dengan panjang gelombangnya seperti ditunjukkan pada persamaan 2.1.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.1)$$

dengan :

$\lambda$  adalah panjang gelombang (m);

$v$  adalah cepat rambat gelombang di udara ( $= 3 \times 10^8$  m/s);

$f$  adalah frekuensi gelombang (Hz atau  $s^{-1}$ ).

Jumlah energi radiasi yang dipancarkan suatu sumber cahaya disebut dengan intensitas cahaya yang dinyatakan dalam satuan Candela (setara dengan lumen/steradian). Fluks cahaya (dinyatakan dalam lumen) menyinari permukaan dengan luas  $m^2$  sehingga dinyatakan dalam lumen per  $m^2$  setara dengan lux. Namun dalam pengembangan teknis intensitas cahaya dapat didefinisikan sebagai besar daya penerangan atau penyinaran terhadap luas permukaan yang disinari sehingga dapat dihitung dengan persamaan 2.2.

$$I = \frac{P}{A} \quad (2.2)$$

dengan :

$I$  adalah intensitas cahaya (watt/ $m^2$ );

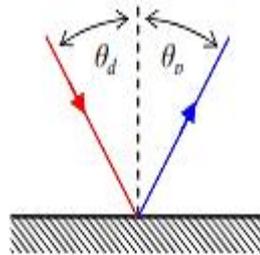
$P$  adalah daya penerangan (watt);

$A$  adalah luas permukaan yang disinari ( $m^2$ ).

Sifat umum cahaya adalah dapat merambat lurus, menembus benda bening, mengalami peristiwa pemantulan (refleksi), pembiasan (refraksi), polarisasi, penggabungan (interferensi) dan penguraian (difraksi). Salah satu sifat cahaya yaitu dapat menembus benda bening, misalnya kaca. Cahaya yang mengenai permukaan kaca sebagian akan dipantulkan, sebagian lainnya diserap (absorpsi) dan diteruskan (transmisi).

### 1. Pemantulan Cahaya

Cahaya yang mengenai sebuah permukaan benda pada sudut tertentu akan dipantulkan sesuai besar sudut pantulnya.



**Gambar 2.4.** Pemantulan Cahaya (Alonso dan Edward, 1992)

Garis merah pada Gambar 2.4 menunjukkan sinar datang yang mengenai permukaan benda dengan sudut sinar datang  $\theta_d$ . Sedangkan garis biru menunjukkan sinar pantul dengan besar sudut sinar pantul  $\theta_D$  yang sama besarnya dengan sudut sinar datang  $\theta_d$ .

$$\theta_d = \theta_D \quad (2.3)$$

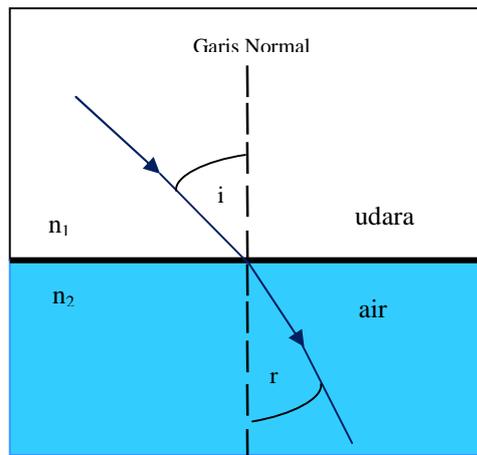
dengan :

$\theta_d$  adalah sudut sinar datang yang mengenai permukaan benda terhadap garis normal (besar sudut dalam derajat busur  $^{\circ}$ );

$\theta_D$  adalah sudut sinar pantul yang mengenai permukaan benda terhadap garis normal (besar sudut dalam derajat busur  $^\circ$ ).

## 2. Pembiasan Cahaya

Peristiwa pembiasan (refraksi) adalah pembengkokan cahaya yang terjadi bila cahaya melalui dua medium yang berbeda kerapatan atau indeks bias mediumnya.



**Gambar 2.5.** Pembengkokan cahaya (Alonso dan Edward, 1992)

Peristiwa pembengkokan cahaya yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 tersebut menerangkan tentang hukum Snellius yang ditunjukkan dengan persamaan 2.4.

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r \quad (2.4)$$

dengan :

$n_1$  = indeks bias udara;

$n_2$  = indeks bias air;

$i$  = sudut antara cahaya yang merambat melalui udara dengan garis normal (dalam derajat busur  $^\circ$ );

$r$  = sudut antara cahaya yang merambat melalui air dengan garis normal (dalam derajat busur  $^\circ$ ).

Bila cahaya dari medium udara (kurang rapat) melalui medium air (lebih rapat daripada medium udara), pembengkokan cahaya akan mendekati garis normal yang tegak lurus terhadap kedua medium tersebut. Sedangkan bila cahaya melalui medium rapat (air) menuju medium kurang rapat (udara), maka pembengkokan cahaya menjauhi garis normalnya (Alonso dan Edward, 1992).

### 3. Transmisi

Transmisi merupakan penghantaran atau distribusi cahaya melalui suatu material tembus cahaya seperti kaca, yang diperoleh dari hasil pembiasan cahaya yang melalui kaca tersebut. Besar transmisi disebut dengan transmitansi ( $T$ ) yang merupakan perbandingan besar intensitas cahaya yang ditransmisikan ( $I_t$ ) dengan intensitas cahaya datang ( $I_o$ ).

$$T = \frac{I_t}{I_o} \quad (2.5)$$

dengan :

$T$  adalah transmitansi;

$I_t$  adalah intensitas cahaya yang ditransmisikan ( $\text{watt/m}^2$ );

$I_o$  adalah intensitas cahaya datang ( $\text{watt/m}^2$ ).

### 4. Absorpsi

Absorpsi atau penyerapan cahaya merupakan suatu bentuk interaksi cahaya dengan atom absorpsi yang terjadi ketika cahaya masuk bertumbukan langsung dengan atom-atom pada material dan menyerap energinya pada elektron atom. Cahaya mengalami perambatan dan akhirnya berhenti, sehingga pancaran cahaya yang keluar dari material berkurang dibandingkan dengan cahaya saat masuk.

$$\alpha = -\log(T) = -\log\left(\frac{I_t}{I_o}\right) \quad (2.6)$$

dengan :

$\alpha$  adalah koefisien absorpsi suatu bahan;

T adalah transmitansi;

$I_t$  adalah intensitas cahaya yang ditransmisikan ( $\text{watt/m}^2$ );

$I_o$  adalah intensitas cahaya datang ( $\text{watt/m}^2$ ) (Setiawan, 2011).

#### D. Ultraviolet

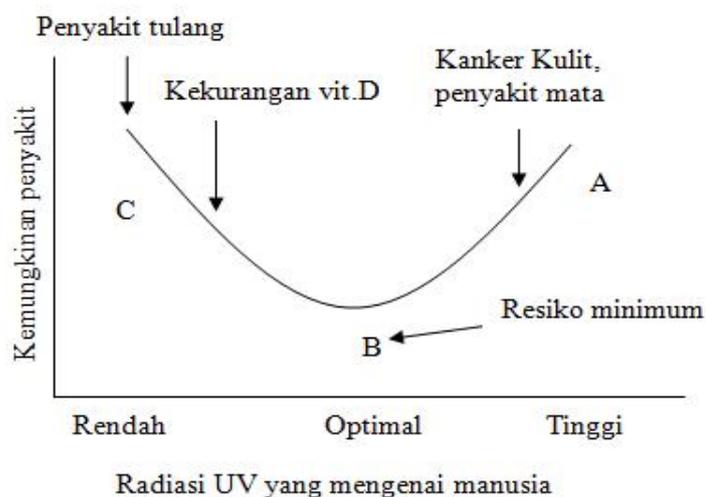
Ultraviolet merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi yang lebih besar dari sinar ungu sehingga disebut ultraviolet atau ultra ungu. Sumber alami yang memproduksi sinar ultraviolet adalah matahari. Matahari meradiasikan berbagai jenis ultraviolet berdasarkan panjang gelombang yang terdiri dari UV-A, UV-B, UV-C dan UV Vakum (Birtalan and William, 2009).

**Tabel 2.1.** Jenis Ultraviolet berdasarkan panjang gelombang (Birtalan and William, 2009)

| Jenis    | Panjang gelombang (nm) |
|----------|------------------------|
| UV-A     | 315 – 400              |
| UV-B     | 280 – 315              |
| UV-C     | 200 – 280              |
| UV Vakum | 10 – 200               |

Panjang gelombang ultraviolet pada Tabel 2.1 tersebut dinyatakan dalam satuan nm (nanometer) yang besarnya sama dengan  $10^{-9}$  m. Dari Tabel 2.1 menunjukkan bahwa ultraviolet memiliki panjang gelombang dalam daerah  $10^{-8}$  m hingga  $10^{-7}$  m. Dengan mengetahui daerah panjang gelombang tersebut dapat diketahui pula daerah frekuensi ultraviolet. Frekuensi ultraviolet berada di daerah  $10^{15}$  sampai  $10^{16}$  Hz. Secara matematis, perhitungan frekuensi sebuah gelombang elektromagnetik dapat menggunakan persamaan 2.1. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa panjang gelombang berbanding terbalik dengan besar frekuensinya.

Radiasi UV-C yang berasal dari matahari tidak sampai ke permukaan bumi karena terserap oleh lapisan ozon. Sedangkan radiasi UV-A dan UV-B dapat menembus lapisan ozon sehingga sampai ke permukaan bumi. Radiasi UV-B dapat mempengaruhi epidermis sehingga membuat kulit menjadi kecoklatan. Bahkan untuk beberapa tipe kulit, radiasi UV-B dapat menyebabkan kulit terbakar dan sel-sel kulit bermutasi. Dibandingkan dengan UV-B, UV-A memiliki daya tembus yang lebih besar. Radiasi UV-A dapat menembus lapisan kulit sehingga berpotensi menyebabkan kanker kulit (Lucas, *et al.* 2006). Gambar 2.6 menunjukkan hubungan radiasi ultraviolet dengan kemungkinan penyakit yang dapat diderita manusia.



**Gambar 2.6.** Hubungan radiasi UV terhadap kemungkinan terjadinya penyakit (Lucas, *et al.* 2006)

Ultraviolet bermanfaat untuk memperkuat tulang, memberi pigmen kulit, dan dapat membunuh bakteri. Namun intensitas ultraviolet yang berlebihan dapat menyebabkan kanker kulit. Jika ultraviolet jatuh pada benda yang mengandung fosfor atau flour, akan menyebabkan terjadinya *fosforesensie* atau *flouresensie*. Pada kedua peristiwa tersebut, ultraviolet diserap kemudian dipancarkan kembali

dalam bentuk cahaya sehingga dapat terlihat oleh mata manusia. Fosfor dan flour biasanya dicampurkan pada sabun cuci, pasta gigi dan cat, sehingga menyebabkan pakaian yang dicuci dengan sabun cuci, gigi yang disikat dengan pasta gigi dan papan yang dicat tampak bersih dan berkilau. Pada hologram uang kertas pun dilapisi flour sehingga ketika terkena ultraviolet tampak berpendar (Jati dan Tri, 2010).

Menurut *Environmental Health Perspectives* (2012), radiasi UV yang mengenai kulit akan diubah menjadi senyawa *7-dehydrocholesterol*, kemudian dibawa ke hati dan diubah menjadi senyawa *25-hydroxyvitamin-D* atau 25(OH)D. Vitamin D dalam bentuk 25(OH)D inilah yang akan aktif dalam tubuh. Radiasi UV yang optimal dapat meningkatkan konsentrasi 25(OH)D (Setiati, 2008).

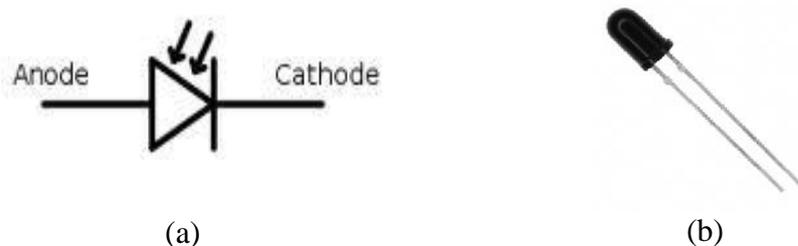
Radiasi UV dapat digunakan untuk sterilisasi bakteri kontaminan, contohnya bakteri *Bacillus sp.*, dalam suatu ruangan (Ariyadi dan Dewi, 2009). Radiasi UV juga digunakan untuk desinfeksi mikroorganisme *P. Aeruginosa* pada limbah air (Mounaouer and Hassen, 2012). Namun radiasi UV yang terus meningkat jika mengenai kulit secara terus-menerus mengakibatkan kanker kulit (Chang, *et al.* 2010).

Ultraviolet terdiri atas ultraviolet *non visible* dan ultraviolet *visible* (UV-Vis). Ultraviolet *non visible* merupakan ultraviolet yang tidak tampak oleh mata karena panjang gelombangnya lebih pendek dibandingkan dengan ultraviolet *visible*. Ultraviolet *visible* memiliki daerah antara 174 nm sampai dengan 900 nm (Workman, 1998). Contoh sumber ultraviolet *visible* adalah lampu deuterium

(memiliki panjang gelombang 350 nm), lampu tungsten dan halogen (memiliki panjang gelombang hingga 900 nm).

### E. Fotodioda

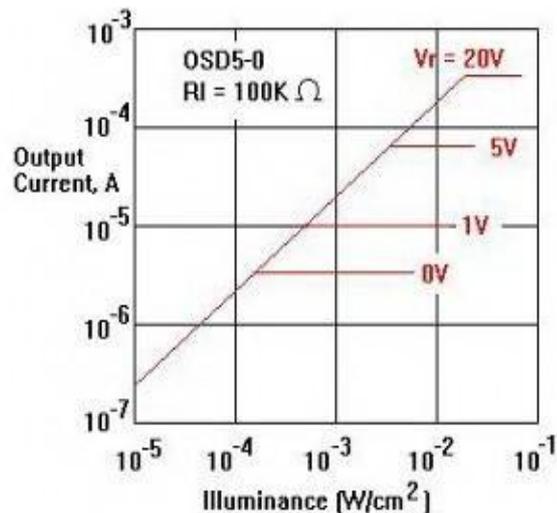
Cahaya atau foton dapat dideteksi oleh fotodioda karena energi yang dibawa oleh cahaya mengisi kekosongan lubang elektron yang terdapat pada bahan semikonduktor tersebut (Smith and John, 1971). Fotodioda adalah salah satu sensor cahaya (*optic*) yang banyak digunakan karena memiliki tingkat pengukuran radiasi dengan jangkauan yang lebar. Fotodioda merupakan piranti semikonduktor sambungan p-n yang dirancang untuk beroperasi bila dibiaskan dalam keadaan terbalik untuk mendeteksi cahaya. Ketika cahaya jatuh pada sambungan p-n, pasangan elektron-*hole* mengalami perubahan karakteristik sehingga menghasilkan tegangan atau arus listrik. Besar tegangan atau arus yang mengalir pada dioda berubah sesuai dengan intensitas cahaya yang diterimanya (Fraden, 2004). Gambar 2.7 menunjukkan simbol dan bentuk fisik fotodioda.



**Gambar 2.7.** Fotodioda, (a) simbol, (b) bentuk fisik (Fraden, 2004)

Fotodioda terbuat dari semikonduktor bahan silikon (Si), Galium Arsenida (GaAs), InSb, InAs atau PbSe. Kemampuan menyerap cahaya dengan karakteristik panjang gelombang mencakup 190 - 1100 nm untuk silikon dan 190 - 680 nm untuk GaAs. Cahaya (foton) memberikan sumbangan elektron yang

diserap fotodiode untuk mengisi elektron pada *hole* sehingga menimbulkan arus. Arus ini umumnya teratur terhadap *density of power* ( $D_p$ ). Perbandingan antara arus keluaran dengan *density of power* disebut *current responsivity*. Hubungan antara keluaran fotodiode dengan intensitas cahaya yang diterimanya membentuk suatu fungsi linier (Kurniawan, 2013).



**Gambar 2.8.** Hubungan keluaran fotodiode dengan intensitas cahaya (Kurniawan, 2013)

#### F. Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler merupakan sebuah chip cerdas yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Dikatakan chip cerdas karena mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer yang memiliki mikroprosesor, ROM, RAM, I/O, dan *clock*, yang dikemas dalam sebuah chip berukuran kecil. Ukuran mikrokontroler yang kecil menjadikan mikrokontroler lebih fleksibel dan praktis untuk digunakan terutama pada sistem yang relatif tidak terlalu kompleks sehingga tidak membutuhkan beban komputasi yang tinggi bila dibandingkan dengan komputer. Meskipun demikian, spesifikasi dan kemampuan mikrokontroler lebih rendah dari

komputer bila dibandingkan dari segi kecepatan, kapasitas memori dan fitur-fitur yang dimiliki komputer.

Jenis mikrokontroler bermacam-macam sesuai dengan keluarga atau *series*-nya. Pengelompokan keluarga mikrokontroler berdasarkan perusahaan pembuat mikrokontroler sesuai dengan spesifikasi khusus yang membedakannya dengan mikrokontroler keluarga lain. Jenis mikrokontroler dalam satu keluarga memiliki kesamaan dalam hal arsitektur dan kompatibilitas pemrogramannya. Yang membedakan mikrokontroler dalam satu keluarga ini adalah kemasan fisiknya, misalnya jumlah pin dan fitur-fiturnya meliputi kapasitas memori program dan memori data, jumlah timer, jumlah interupsi, dan lain-lain.

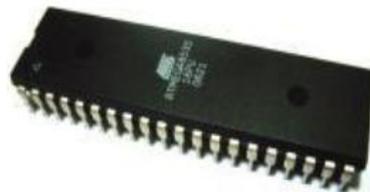
Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan saat ini yaitu mikrokontroler AVR. AVR adalah mikrokontroler *Reduce Instruction Set Computer* (RISC) 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard. Secara umum mikrokontroler AVR dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu keluarga AT90Sxx, ATmega dan ATtiny (Putra, 2002).

Mikrokontroler ATmega8535 adalah salah satu mikrokontroler keluarga AVR yang memiliki fitur yang cukup lengkap. Fitur-fitur yang tersedia pada mikrokontroler ATmega8535 meliputi

1. kapasitas memori program dan memori data yang cukup besar, yaitu 8 KB Flash memori,
2. 130 macam instruksi hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus clock,
3. kecepatan mencapai 16 MIPS dengan clock 16 MHz,
4. master/slave SPI serial interface,

5. 2 buah timer/counter 8 bit dan 1 buah timer/counter 16 bit,
6. 4 saluran output PWM,
7. serial USART,
8. 32 x 8 bit register serba guna,
9. serial TWI atau I2C,
10. analog comparator,
11. 512 byte EEPROM internal,
12. 512 byte SRAM, dan
13. 8 saluran ADC 10 bit.

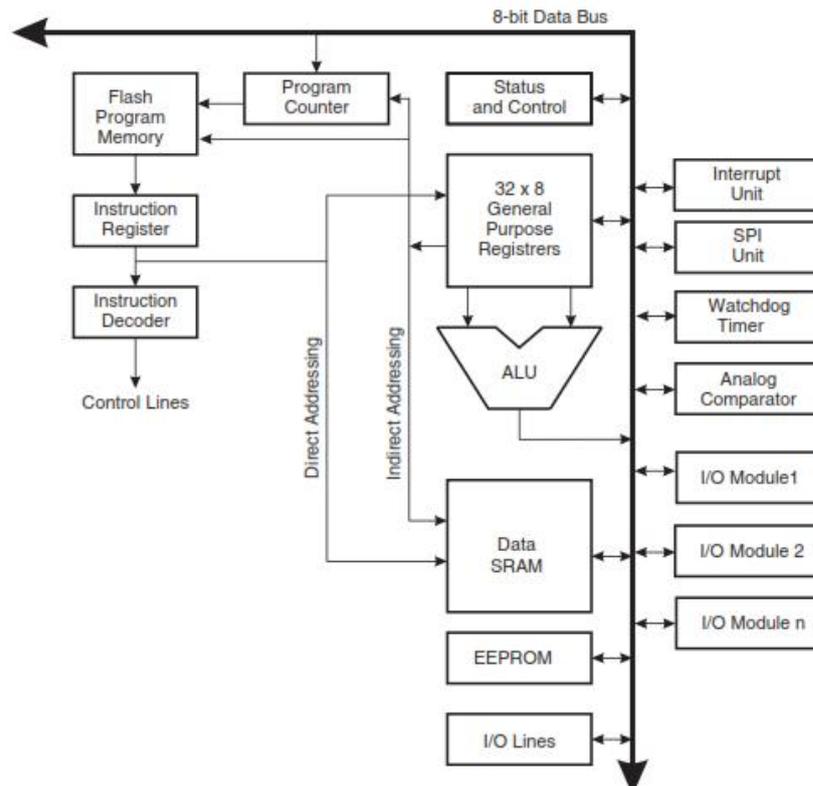
Dengan fitur yang cukup lengkap ini, mikrokontroler ATmega8535 dapat digunakan untuk merancang sistem sederhana hingga sistem yang relatif kompleks dengan satu chip IC saja, yaitu IC mikrokontroler ATmega8535. Gambar 2.9 menunjukkan bentuk fisik mikrokontroler ATmega8535.



**Gambar 2.9.** IC Mikrokontroler ATmega8535 (datasheet)

Mikrokontroler ATmega8535 merupakan tipe AVR yang dilengkapi dengan 8 saluran ADC internal 10 bit dengan mode operasi yang dapat dikonfigurasi baik secara *single ended* input maupun *differential input*. Selain itu, ADC mikrokontroler ATmega8535 memiliki konfigurasi pewaktuan, tegangan referensi, mode operasi dan kemampuan filter derau yang amat fleksibel sehingga mudah disesuaikan dengan kebutuhan ADC itu sendiri.

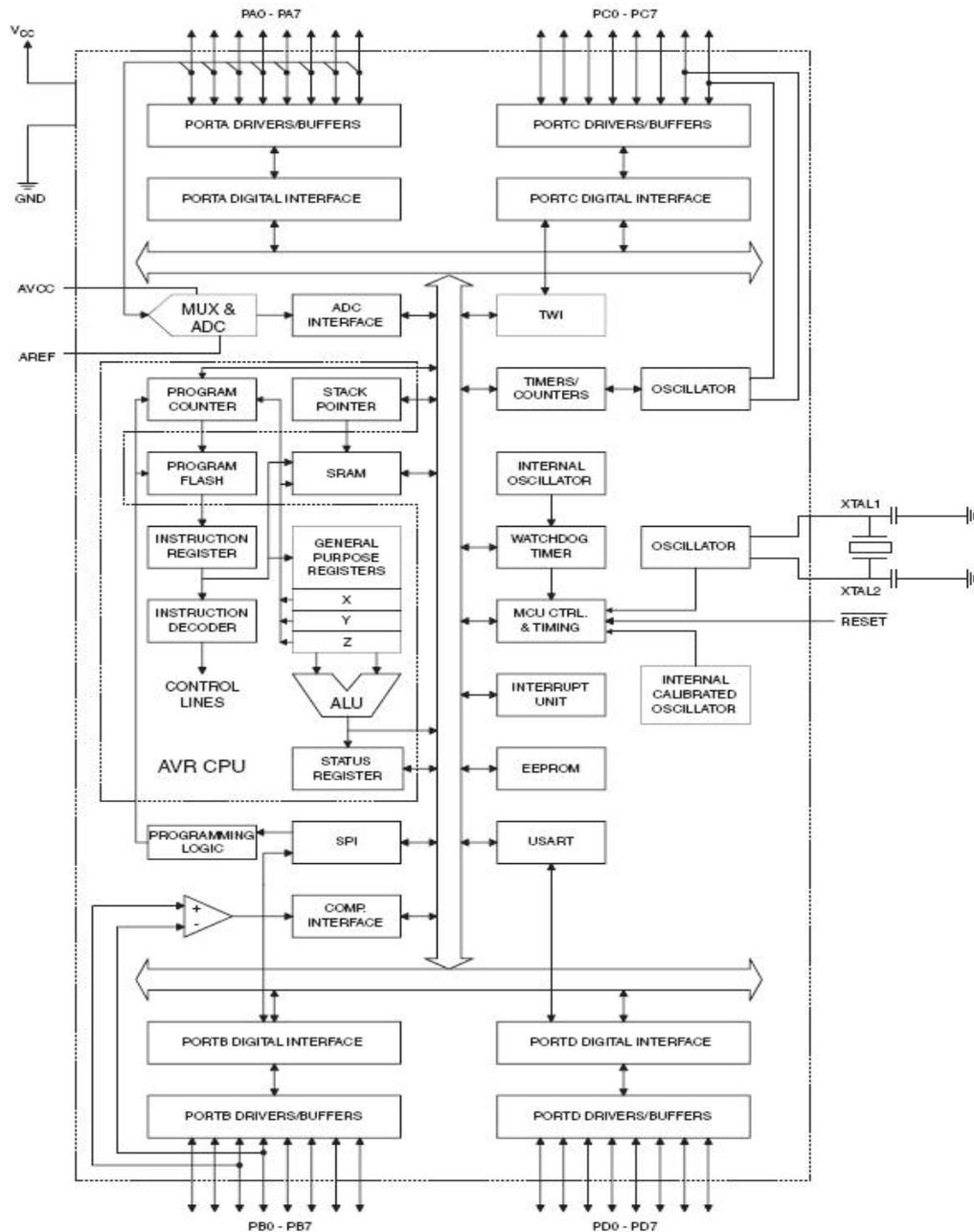
Mikrokontroler ATmega8535 memiliki arsitektur Harvard yang memisahkan memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan untuk kerja dan *paralelisme*. Arsitektur mikrokontroler ATmega8535 ditunjukkan pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10.** Arsitektur ATmega8535 (datasheet)

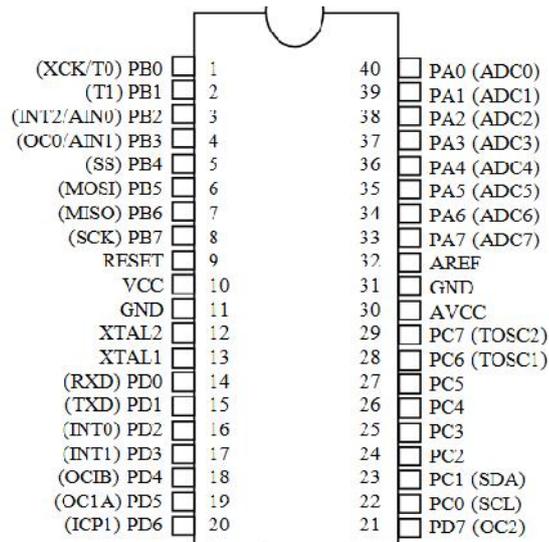
Instruksi - instruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal dengan instruksi berikutnya diambil dari memori program ketika sedang melakukan instruksi yang lain. Hal inilah yang memungkinkan instruksi-instruksi dapat dieksekusi dalam satu siklus clock (Bejo, 2008).

Gambar 2.13 merupakan diagram blok mikrokontroler ATmega8535.



**Gambar 2.11.** Blok diagram ATmega8535 (datasheet)

Mikrokontroler ATmega8535 memiliki 4 buah port I/O yang terdiri dari PORT A, PORT B, PORT C dan PORT D yang masing-masing port memiliki 8 buah saluran. Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega8535 ditunjukkan pada Gambar 2.13.



**Gambar 2.12.** Konfigurasi pin ATmega8535 (datasheet)

Berikut ini adalah deskripsi fungsi pin pada mikrokontroler ATmega8535.

1. VCC (pin 10) adalah input tegangan dari catudaya.
2. GND (pin 11 dan pin 31) adalah input ground dari catudaya.
3. RESET (pin 9) berfungsi untuk mereset mikrokontroler.
4. XTAL1 (pin 13) dan XTAL2 (pin 12) adalah input kristal eksternal.
5. AVCC (pin 30) berfungsi sebagai input catudaya untuk PORTA dan ADC.

Pin ini terhubung dengan VCC.

6. AREF (pin 32) adalah pin tegangan referensi analog untuk ADC.
7. PORT A (PA7 – PA0 (pin 33 – 40)) berfungsi sebagai masukan analog ke ADC, sebagai port I/O dua arah 8 bit apabila ADC tidak digunakan.

**Tabel 2.2.** Deskripsi PORT A (Bejo, 2008)

| Port pin | Fungsi Alternatif                 |
|----------|-----------------------------------|
| PA0      | ADC0 (ADC input <i>channel</i> 0) |
| PA1      | ADC1 (ADC input <i>channel</i> 1) |
| PA2      | ADC2 (ADC input <i>channel</i> 2) |
| PA3      | ADC3 (ADC input <i>channel</i> 3) |
| PA4      | ADC4 (ADC input <i>channel</i> 4) |

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| PA5 | ADC5 (ADC input <i>channel 5</i> ) |
| PA6 | ADC6 (ADC input <i>channel 6</i> ) |
| PA7 | ADC7 (ADC input <i>channel 7</i> ) |

8. PORT B (PB0 – PB7 (pin 1 – 8)) berfungsi sebagai port I/O dua arah 8 bit dengan resistor *pull-up* internal yang dapat diaktifkan untuk setiap bit yang dipilih. Fungsi khusus PORT B adalah *timer/counter*, komparator analog dan SPI.

**Tabel 2.3.** Deskripsi PORT B (Bejo, 2008)

| Port pin | Fungsi Alternatif   |
|----------|---|
| PB0      | T0 ( <i>Timer/Counter0 External Counter Input</i> )<br>XCK ( <i>USART External Clock Input/Output</i> )       |
| PB1      | T1 ( <i>Timer/Counter1 External Counter Input</i> )   |
| PB2      | AIN0 ( <i>Analog Comparator Positive Input</i> )<br>INT2 ( <i>External Interrupt2 Input</i> )                 |
| PB3      | AIN0 ( <i>Analog Comparator Negative Input</i> )<br>OC0 ( <i>Timer/Counter0 Output Compare Match Output</i> ) |
| PB4      | $\overline{SS}$ ( <i>SPI Slave Select Input</i> )   |
| PB5      | MOSI ( <i>SPI Bus Master Output/Slave Input</i> )   |
| PB6      | MISO ( <i>SPI Bus Master Input/Slave Output</i> )   |
| PB7      | SCK ( <i>SPI Bus Serial Clock</i> )   |

9. PORT C (PC0 – PC7 (pin 22 – 29)) berfungsi sebagai port I/O dua arah 8 bit dengan resistor *pull-up* internal yang dapat diaktifkan untuk setiap bit yang dipilih. Fungsi khusus PORT C adalah TWI, komparator analog dan *timer oscillator*.

**Tabel 2.4.** Deskripsi PORT C (Bejo, 2008)

| Port pin | Fungsi Alternatif   |
|----------|---|
| PC0      | SCL ( <i>Two-wire Serial Bus Clock Line</i> )             |
| PC1      | SDA ( <i>Two-wire Serial Bus data Input/Output Line</i> ) |
| PC6      | TOSC1 ( <i>Timer Oscillator pin 1</i> )                   |
| PC7      | TOSC2 ( <i>Timer Oscillator pin 2</i> )                   |

10. PORT D (PD0 – PD7 (pin 14 – 21) berfungsi sebagai port I/O dua arah 8 bit dengan resistor *pull-up* internal yang dapat diaktifkan untuk setiap bit yang dipilih. Fungsi khusus PORT D adalah komparator analog, interupsi eksternal dan komunikasi serial.

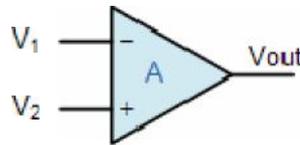
**Tabel 2.5.** Deskripsi PORT D (Bejo, 2008)

| Port pin | Fungsi Alternatif  |
|----------|--|
| PD0      | RXD (USART Input Pin)  |
| PD1      | TXD (USART Output Pin)                                       |
| PD2      | INT0 ( <i>External Interrupt0 Input</i> )                    |
| PD3      | INT1 ( <i>External Interrupt1 Input</i> )                    |
| PD4      | OC1B ( <i>Timer/Counter1 Output Compare B Match Output</i> ) |
| PD5      | OC1A ( <i>Timer/Counter1 Output Compare A Match Output</i> ) |
| PD6      | ICP1 ( <i>Timer/Counter1 input Capture Pin</i> )             |
| PD7      | OC2 ( <i>Timer/Counter2 Output Compare Match Output</i> )    |

### G. Penguat Tegangan

Sesuai dengan namanya, penguat tegangan berfungsi untuk menguatkan tegangan. Penguat tegangan disebut juga *operational amplifier* (op-amp) pertama kali dibuat pada tahun 1940-an dengan menggunakan tabung vakum untuk melakukan operasi matematis penjumlahan, pengurangan, perkalian, pembagian, diferensiasi

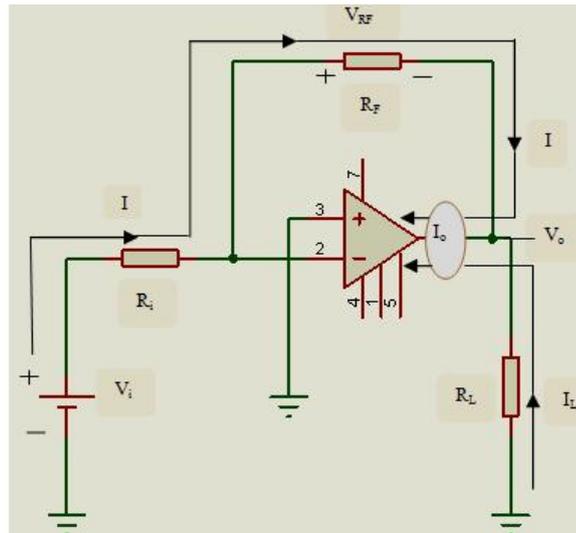
dan integrasi secara elektrik sehingga memungkinkan pemecahan persamaan diferensial secara elektrik pada komputer-komputer analog permulaan. Simbol yang sering dipakai sebagai penguat tegangan ditunjukkan pada Gambar 2.13.



**Gambar 2.13.** Simbol op-amp (Hayt and Jack, 2004)

Gambar 2.13 menunjukkan bahwa sebuah op-amp memiliki dua terminal masukan di sebelah kiri dan terminal keluaran tunggal di sebelah kanan (Hayt and Jack, 2004).

Penemuan op-amp dalam bentuk IC (*Integrated Circuit*) memiliki tegangan operasi yang rendah, harganya murah dan dapat diandalkan. Oleh karena itu, op-amp dapat digunakan dalam bidang pengontrolan proses, komunikasi, komputer, pembangkit sinyal, sistem peraga, pengukuran dan sistem pengujian. Op-amp secara rangkaian diskrit terdiri dari banyak komponen resistor, kapasitor dan transistor yang membentuk rangkaian menjadi satu kesatuan dalam sebuah IC. Op-amp digunakan sebagai penguat yang dapat menerima sinyal input dan menghasilkan sinyal output yang sama dengan sinyal inputnya namun amplitudonya yang lebih besar. Ciri sebuah penguat adalah adanya rangkaian umpan balik negatif (*negative feedback*) yaitu adanya tahanan (resistor) luar yang dipasang sebagai penghubung antara terminal output dengan terminal input negatif (*negative input*).



**Gambar 2.14.** Rangkaian penguat inverting (Pujiono, 2012)

Tegangan input  $V_i$  terhubung dengan tahanan  $R_i$  masuk ke terminal masukan (-) dari op-amp. Umpan balik dibuat oleh tahanan  $R_f$  yang menghubungkan terminal output dengan terminal masukan (-). Op-amp dianggap ideal sehingga tegangan antara masukan (+) dan masukan (-) sama dengan nol. Karena masukan (+) dihubungkan dengan *ground* maka terminal masukan (-) seolah-olah juga dihubungkan *ground* yang disebut *ground semu (virtual ground)*. Karena ujung satu terhubung dengan  $V_i$  dan ujung lainnya terhubung dengan *ground* maka akan mengalir arus  $I$  dari arah kiri ke kanan dan sesuai hukum Ohm yang ditunjukkan pada persamaan 2.7.

$$I = \frac{V_i}{R_i} \quad (2.7)$$

dengan :

$I$  adalah arus yang mengalir (Ampere);

$V_i$  adalah tegangan input (Volt);

$R_i$  adalah tahanan masukan (Ohm).

Karena arus yang masuk ke terminal masukan op-amp sama dengan nol maka arus  $I$  akan mengalir semuanya melewati  $R_f$  dan timbul tegangan pada  $R_f$  dengan polaritas (+) pada ujung kiri  $R_f$  dan polaritas (-) pada ujung kanan  $R_f$  sebesar  $V_{Rf}$  yaitu

$$V_{Rf} = I \cdot R_f = \frac{V_i}{R_i} \cdot R_f \quad (2.8)$$

Karena polaritas (-) dari  $R_f$  tersambung dengan terminal output  $V_o$  maka besarnya adalah

$$V_o = -V_{Rf} = -\frac{V_i}{R_i} \cdot R_f = -\frac{R_f}{R_i} \cdot V_i \quad (2.9)$$

Dengan menggunakan gain untai tertutup (AcL) maka besarnya adalah

$$A_{cL} = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i} \quad (2.10)$$

Tanda negatif pada persamaan diatas menunjukkan bahwa polaritas tegangan output  $V_o$  terbalik dengan polaritas tegangan input  $V_i$  sehingga disebut penguat pembalik atau *inverting amplifier* (Pujiono, 2012).

## H. *Liquid Crystal Display (LCD)*

*Liquid Crystal Display* atau dapat disingkat LCD merupakan panel penampil yang dibuat dari bahan kristal cair. Kristal dengan sifat-sifat khusus dapat menampilkan warna lengkap yang berasal dari efek pantulan atau transmisi cahaya dengan panjang gelombang pada sudut lihat tertentu, merupakan salah satu rekayaan penting yang menunjang kebutuhan akan peralatan elektronik serba tipis dan ringan. Secara garis besar, efek cahaya pada bahan penyusun LCD dapat dideskripsikan sebagai operasi *Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC)* pada

keadaan transparan (pixel kiri) dan pada keadaan hamburan (pixel kanan). Pada keadaan transparan, tegangan dikenakan pixel (*picture element*), sehingga mengarahkan kristal cair dalam droplet atau titik kecil dan menciptakan indeks sesuai kondisi dimana  $n_o$  sesuai  $n_p$ . Pada keadaan hamburan, sumbu simetris pada droplet secara acak diorientasikan, menciptakan indeks tidak sesuai  $n$  antara droplet dan matriks pengkapsulan (Muis, 2013).

LCD adalah suatu media penampil data yang sangat efektif dan efisien dalam penggunaannya. Untuk menampilkan sebuah karakter pada LCD diperlukan beberapa rangkaian tambahan. Oleh karena itu perusahaan elektronik menciptakan modul LCD untuk memudahkan penggunaan LCD. Salah satu contoh LCD yang banyak digunakan adalah LCD berukuran 16 x 2, artinya memiliki 2 baris dan 16 karakter per barisnya. Gambar 2.15 menunjukkan bentuk fisik LCD berukuran 16 x 2.



**Gambar 2.15.** LCD 16x2 (Muis, 2013)

LCD terdiri dari dua bagian, yaitu bagian depan panel LCD yang terdiri dari banyak dot atau titik LCD dan mikrokontroler yang menempel pada bagian belakang panel LCD yang berfungsi untuk mengatur titik-titik LCD sehingga dapat menampilkan huruf, angka dan simbol khusus. Modul LCD berukuran 16x2 memiliki fasilitas *backlighting* dengan 16 pin yang terdiri dari 8 jalur data, 3 jalur kontrol dan jalur-jalur catudaya.

**Tabel 2.6.** Fungsi pin pada LCD

| <b>No. Pin</b> | <b>Nama</b> | <b>Keterangan</b>           | <b>Fungsi</b>  |
|----------------|-------------|-----------------------------|--|
| 1              | GND         | <i>Ground</i>               | Input GND catudaya   |
| 2              | VCC         | +5 V                        | Input VCC catudaya   |
| 3              | VEE         | <i>Contras</i>              | Mengatur kontras <i>display</i>  |
| 4              | RS          | <i>Register Select</i>      | Masukan pertama dari tiga <i>command control</i> input                               |
| 5              | RW          | <i>Read/Write</i>           | RW <i>low</i> untuk menulis karakter ke modul, RW <i>high</i> untuk membaca karakter |
| 6              | E           | <i>Enable</i>               | Transfer aktual antara modul dengan hubungan data                                    |
| 7-14           | D0-D7       | Data bit 0-7                | Jalur data   |
| 15             | A           | Anoda ( <i>backlight</i> )  |  |
| 16             | K           | Katoda ( <i>backlight</i> ) | Menghidupkan lampu latar LCD   |

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September sampai dengan Desember 2016. Perancangan alat pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

#### **B. Alat dan Bahan**

Untuk perancangan alat ukur serapan ultraviolet pada kaca film berbasis mikrokontroler ATmega8535 ini menggunakan alat berikut ini.

1. Solder listrik, digunakan untuk memanaskan timah agar antar komponen terhubung atau melekatkan komponen pada PCB.
2. Bor listrik, digunakan untuk melubangi PCB sesuai dengan ukuran komponen yang akan dipasang pada PCB.
3. Gergaji, digunakan untuk memotong PCB.
4. Penyedot timah, digunakan untuk mengambil timah yang salah menempel pada komponen.
5. Multimeter digital, digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang mengalir pada rangkaian.
6. *Liquid Crystal Display* (LCD) 16 x 2, digunakan untuk menampilkan data.

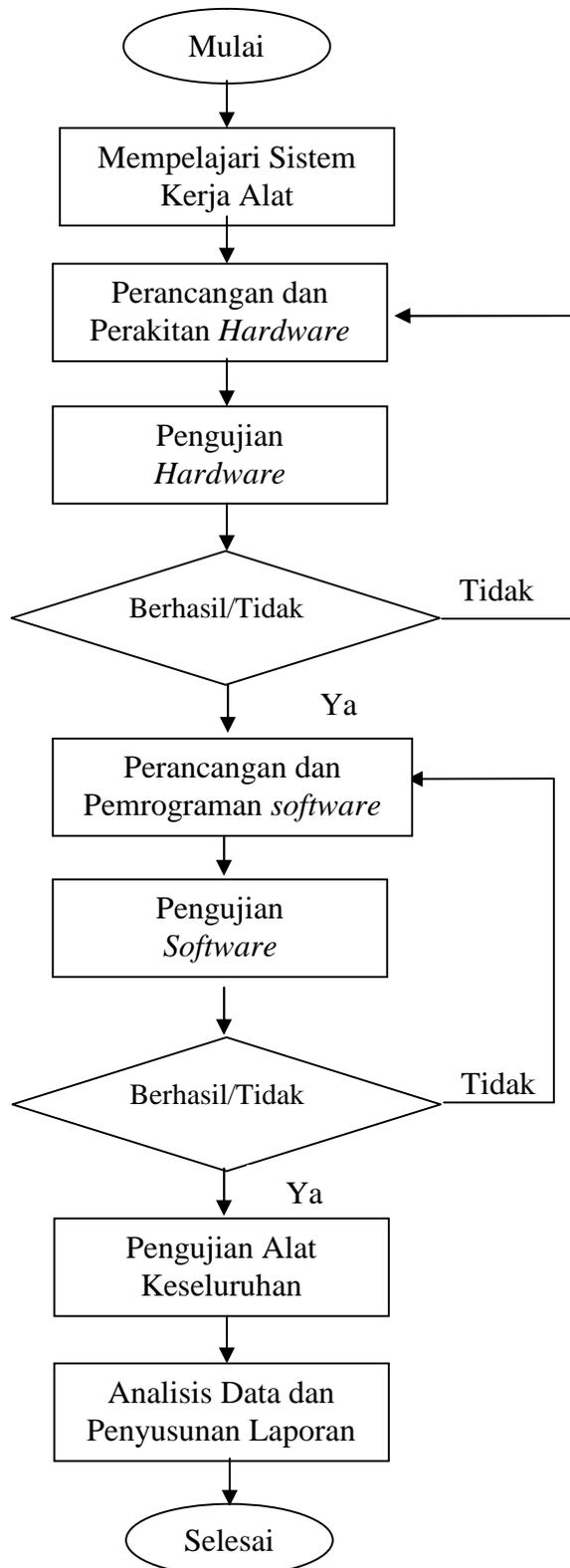
7. Catudaya, digunakan sebagai sumber tegangan DC.
8. Luxmeter, digunakan untuk mengukur intensitas LED ultraviolet.
9. *Personal Computer* (PC), digunakan untuk membuat program dan simulasi alat.
10. Sistem minimum dan USB ASP mikrokontroler, digunakan untuk mengoperasikan mikrokontroler.

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. *Printed Circuit Board* (PCB), digunakan sebagai tempat merangkai komponen.
2. Timah, digunakan untuk melekatkan antar komponen atau melekatkan komponen pada PCB.
3. *Ferichlorida* (FeCl) untuk melarutkan PCB agar diperoleh jalur rangkaian
4. IC Mikrokontroler Atmega8535, digunakan sebagai pengolah data.
5. Kabel penghubung, digunakan untuk menghubungkan antar komponen.
6. LED ultraviolet 395 nm, digunakan sebagai sumber ultraviolet.
7. Sensor UVM-30A, digunakan sebagai pendeteksi ultraviolet.
8. IC LM324, digunakan sebagai pengkondisi sinyal pada rangkaian penguat tegangan.
9. Kaca film, digunakan sebagai media serapan ultraviolet.
10. Komponen elektronika pendukung, seperti resistor, kapasitor, dioda, trafo, LED.

### C. Prosedur Penelitian

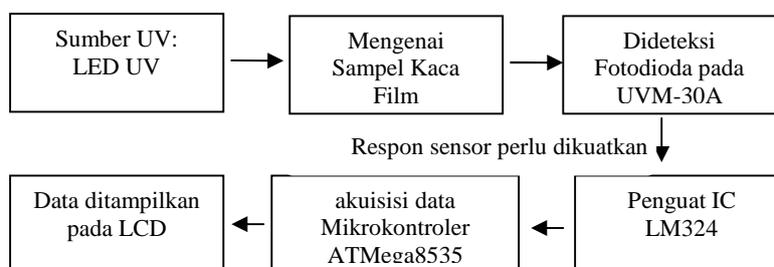
Perancangan alat dilakukan berdasarkan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1.** Diagram alir penelitian

## 1. Perancangan *Hardware*

Tahap awal perancangan alat adalah perancangan *hardware*. Perancangan *hardware* alat ukur serapan ultraviolet pada kaca film yang dideteksi oleh fotodiode jenis GUVVA-S10GD yang terdapat pada UVM-30A berbasis mikrokontroler ATmega8535 ini terdiri dari 2 bagian, yaitu mekanis dan akuisisi data. Bagian mekanis dibangun menggunakan sensor fotodiode yang mendeteksi ultraviolet, sedangkan bagian akuisisi data dibangun menggunakan mikrokontroler ATmega8535 yang mengolah data dari bagian mekanis. Gambar 3.2 menunjukkan diagram blok perancangan *hardware*.

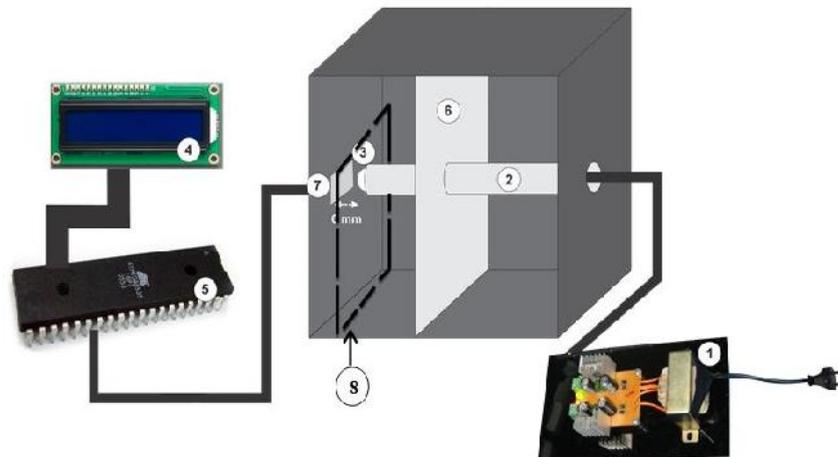


**Gambar 3.2.** Diagram Blok Perancangan *Hardware*

Fungsi masing-masing bagian pada diagram blok tersebut adalah sebagai berikut.

1. LED UV sebagai sumber ultraviolet yang mengenai kaca film.
2. Sampel kaca film sebagai media penyerap ultraviolet.
3. Fotodiode pada UVM-30A sebagai sensor cahaya yang mendeteksi ultraviolet dan memberikan respon tegangan (dalam mV) terhadap intensitas ultraviolet yang diterima fotodiode.
4. Penguat IC LM324 sebagai penguat tegangan keluaran fotodiode.
5. Mikrokontroler ATmega8535 sebagai pengolah data dari respon fotodiode menjadi data serapan ultraviolet.
6. LCD untuk menampilkan data serapan kaca film terhadap ultraviolet.

Rancangan alat ukur serapan ultraviolet pada kaca film ditunjukkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3.** Rancangan Alat

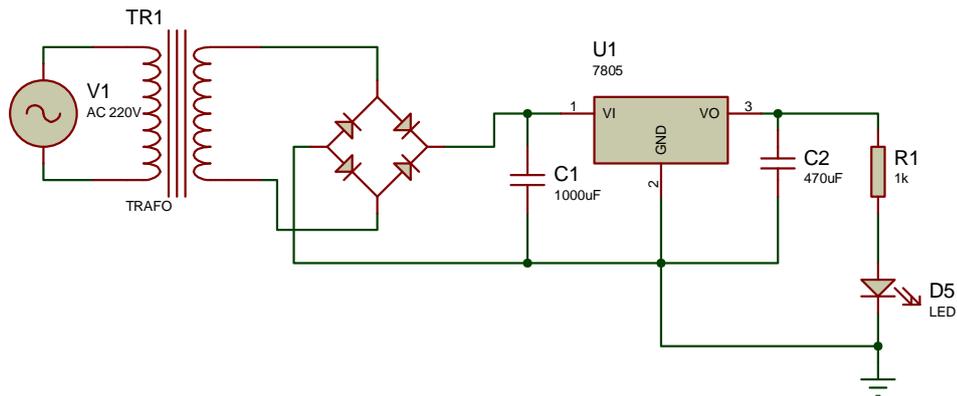
Keterangan:

- |                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| 1 = Catudaya 5V DC         | 5 = Mikrokontroler ATmega8535 |
| 2 = Tabung LED Ultraviolet | 6 = Penyangga Tabung          |
| 3 = LED Ultraviolet        | 7 = Sensor UVM-30A            |
| 4 = LCD                    | 8 = Sampel Kaca film          |

Perancangan *hardware* yang dilakukan terdiri dari perancangan catudaya, rangkaian sensor fotodiode, sistem minimum mikrokontroler ATmega8535, dan rangkaian LCD.

#### a. Rangkaian Catudaya

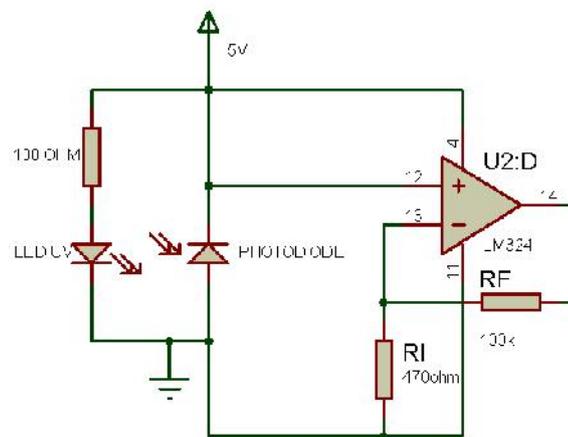
Rangkaian catudaya digunakan untuk memberikan tegangan input DC pada rangkaian sensor dan sistem minimum mikrokontroler ATmega8535. Rangkaian ini terdiri dari trafo, dioda, kapasitor, resistor, *Light Emitting Diode* (LED) dan IC 7805. Gambar 3.4 menunjukkan rangkaian catudaya untuk menghasilkan tegangan DC 5 volt.



**Gambar 3.4.** Rangkaian Catudaya

### b. Rangkaian Sensor

Rangkaian sensor fotodiode pada UVM-30A ini dibangun dengan LED ultraviolet sebagai sumber cahaya yang akan diterima oleh fotodiode. Respon cahaya yang diterima fotodiode menghasilkan output tegangan sangat kecil sehingga output tersebut diperkuat dengan menggunakan IC LM324. Gambar 3.5 menunjukkan rangkaian sensor.

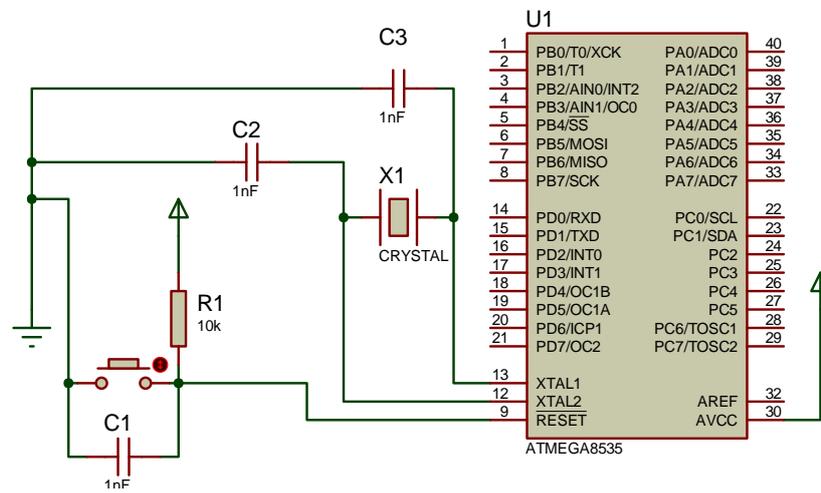


**Gambar 3.5.** Rangkaian Sensor

### c. Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega8535

Rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8535 merupakan sistem yang harus ada ketika akan mengoperasikan sebuah mikrokontroler. Tanpa rangkaian sistem minimum ini, mikrokontroler tidak dapat beroperasi. Rangkaian

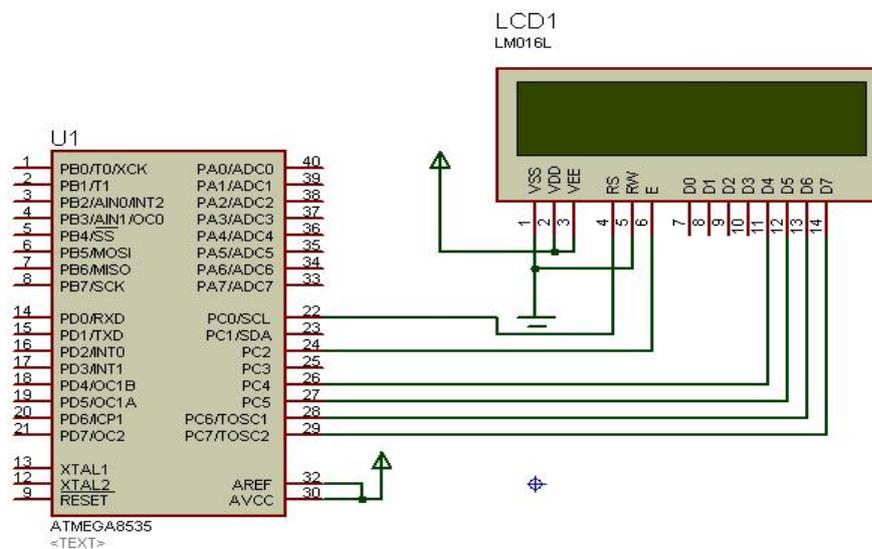
sistem minimum ini terdiri dari resistor, kapasitor, saklar dan Xtal. Xtal atau *crystal* berfungsi sebagai penghasil *clock* internal. Rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8535 ditunjukkan pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6.** Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler

#### d. Rangkaian LCD

Rangkaian *Liquid Crystal Display* (LCD) digunakan untuk menampilkan data dari mikrokontroler, yaitu data respon tegangan sensor dan nilai serapan kaca film terhadap ultraviolet. Rangkaian ini terhubung dengan mikrokontroler ATmega8535 pada Port C. Gambar 3.7 menunjukkan rangkaian LCD.

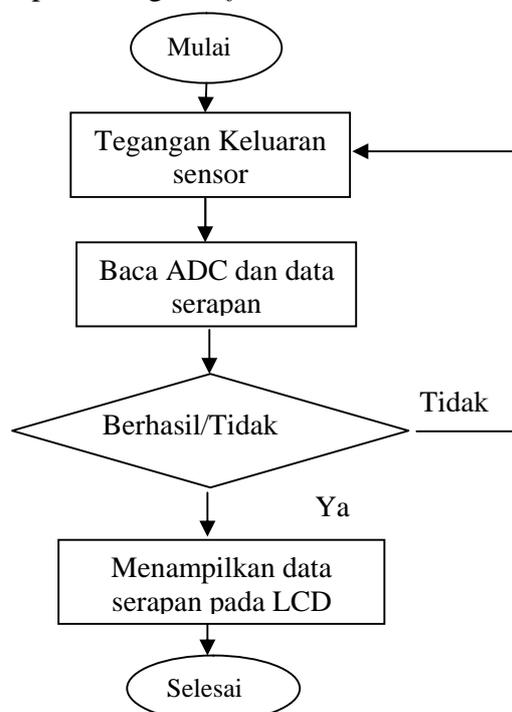


**Gambar 3.7.** Rangkaian LCD

Setelah perancangan *hardware* berhasil dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah perancangan *software* untuk pemrograman mikrokontroler ATmega8535.

## 2. Perancangan *Software*

Perancangan *software* pada penelitian ini menggunakan BASCOM AVR dengan bahasa pemrograman *Basic*. Pemrograman ini dilakukan untuk memberikan instruksi pada mikrokontroler agar dapat mengolah data tegangan dari fotodiode pada UVM-30A menjadi data serapan kaca film terhadap ultraviolet kemudian data tersebut ditampilkan pada LCD 16 x 2. Tegangan output dari rangkaian sensor masuk ke mikrokontroler ATmega8535 melalui Port A. Melalui Port A tersebut, tegangan yang merupakan input analog akan dikonversi ke bentuk digital dengan ADC 10 bit yang terdapat pada Port A mikrokontroler ATmega8535. Setelah proses ADC tersebut dilakukan, maka mikrokontroler mengolah data serapan yang kemudian ditampilkan ke LCD melalui Port C. Gambar 3.8 menunjukkan diagram alir perancangan *software*.



**Gambar 3.8.** Diagram Alir Perancangan *Software*

#### D. Metode Analisis

Penelitian pengukuran serapan ultraviolet pada kaca film ini dilakukan menggunakan LED ultraviolet sebagai sumber ultraviolet. Panjang gelombang dari LED ultraviolet adalah 395 nm yang diketahui dari datasheet (datasheet terlampir). LED ultraviolet ini memiliki sinar tampak biru keunguan dengan diameter LED 5 mm dan kepala LED yang datar (*flat top*).

Pengujian awal yang dilakukan adalah mengukur intensitas LED ultraviolet dengan menggunakan Luxmeter digital TASI - 8721. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui intensitas LED ultraviolet berdasarkan jarak. Adapun jarak yang pengujian yang akan dilakukan dari jarak 0 mm sampai 15 mm dengan interval jarak 1 mm. Pada pengujian intensitas ini, LED ultraviolet dan sensor pada luxmeter akan ditempatkan dalam ruangan gelap (intensitas 0) agar luxmeter fokus merespon intensitas dari LED ultraviolet saja. Tabel 3.1 berikut adalah tabel pengujian intensitas LED ultraviolet.

**Tabel 3.1.** Pengujian Intensitas LED ultraviolet

| No. | Jarak (mm) | Intensitas (lux) |
|-----|------------|------------------|
| 1.  | 0          |                  |
| 2.  | 1          |                  |
| 3.  | 2          |                  |
| 4.  | 3          |                  |
| 5.  | 4          |                  |
| 6.  | 5          |                  |
| 7.  | 6          |                  |
| 8.  | 7          |                  |
| 9.  | 8          |                  |
| 10. | 9          |                  |
| 11. | 10         |                  |
| 12. | 11         |                  |
| 13. | 12         |                  |
| 14. | 13         |                  |
| 15. | 14         |                  |
| 16. | 15         |                  |

Pengujian intensitas ini akan membuktikan bahwa intensitas cahaya berbanding terbalik terhadap jarak antara sumber cahaya dengan benda yang dikenai cahaya. Semakin dekat sumber cahaya dengan benda, maka semakin besar intensitas cahaya yang mengenai benda tersebut. Sebaliknya, semakin jauh sumber cahaya dengan benda, maka intensitas yang diterima benda tersebut kecil.

Pengujian selanjutnya adalah untuk mengetahui respon sensor fotodiode yang terdapat UVM-30A terhadap sumber ultraviolet alami, yaitu matahari. Pengujian dilakukan saat matahari terik dengan tujuan mengukur tingkat ultraviolet yang dihasilkan matahari berdasarkan respon sensor dalam bentuk analog, yaitu tegangan. Tingkat ultraviolet atau yang disebut indeks UV memiliki range dari 0 sampai 11 dengan respon tegangan dari 0 hingga 1200 mV. Semakin besar respon tegangan sensor maka semakin besar indeks UV, hal ini menunjukkan tingkat ultraviolet yang semakin besar sehingga dapat membahayakan manusia.

Setelah mendapatkan data pengujian sensor terhadap matahari, kemudian dilakukan pengujian sensor terhadap LED ultraviolet berdasarkan jarak. Pengujian ini dilakukan dalam kotak hitam terisolasi dengan tujuan agar tidak ada cahaya luar yang masuk. LED ultraviolet akan diselubungi oleh sebuah tabung agar intensitas ultraviolet yang akan dideteksi oleh fotodiode fokus pada kawasan atau luas lingkaran pada sisi tabung tersebut. Pengujian respon sensor terhadap jarak ini bertujuan untuk karakteristik sensor terhadap intensitas ultraviolet, menentukan jarak yang akan digunakan pada penelitian dan untuk mengetahui hubungan antara tegangan dengan intensitas. Tabel 3.2 menunjukkan rancangan pengamatan uji karakteristik sensor.

**Tabel 3.2.** Pengamatan Uji Karakteristik Sensor

| No. | Jarak (mm) | Tegangan (Volt) |
|-----|------------|-----------------|
| 1.  | 0          |                 |
| 2.  | 1          |                 |
| 3.  | 2          |                 |
| 4.  | 3          |                 |
| 5.  | 4          |                 |
| 6.  | 5          |                 |
| 7.  | 6          |                 |
| 8.  | 7          |                 |
| 9.  | 8          |                 |
| 10. | 9          |                 |
| 11. | 10         |                 |
| 12. | 11         |                 |
| 13. | 12         |                 |
| 14. | 13         |                 |
| 15. | 14         |                 |
| 16. | 15         |                 |

Data intensitas pada Tabel 3.1 dan data tegangan respon sensor pada Tabel 3.2 kemudian diplot dalam bentuk grafik sehingga diketahui hubungan antara tegangan output sensor terhadap intensitas ultraviolet. Gambar 3.9 menunjukkan grafik hubungan tegangan terhadap intensitas ultraviolet.

**Gambar 3.9.** Grafik Hubungan tegangan terhadap intensitas ultraviolet

Gambar 3.9 menunjukkan hubungan antara tegangan terhadap intensitas ultraviolet sehingga dapat ditentukan jarak optimum antara LED ultraviolet dan fotodiode pada UVM-30A untuk mengukur serapan ultraviolet pada kaca film. Serapan pada penelitian ini didefinisikan sebagai besar kemampuan kaca film

dalam menghambat ultraviolet yang akan dideteksi fotodiode pada UVM-30A. Serapan ultraviolet pada kaca film diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.2.

$$A = \frac{I_o - I_f}{I_o} \times 100\% \quad (3.2)$$

dengan :

$A$  adalah persentase serapan ultraviolet (%);

$I_o$  adalah intensitas awal (lux);

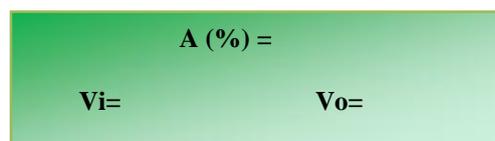
$I_f$  adalah intensitas akhir (lux).

Pengambilan data serapan ultraviolet terhadap kaca film dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Rancangan pengamatan serapan ultraviolet ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3.** Pengamatan Serapan Ultraviolet terhadap berbagai jenis kaca film berdasarkan tingkat kegelapannya

| No. | Merk Kaca Film        | Tingkat Kegelapan | $V_1$ (V) | $V_2$ (V) | $V_3$ (V) | $A_1$ (%) | $A_2$ (%) | $A_3$ (%) |
|-----|-----------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1.  | <i>3M</i>             | 20%               |           |           |           |           |           |           |
|     |                       | 40%               |           |           |           |           |           |           |
|     |                       | 60%               |           |           |           |           |           |           |
|     |                       | 80%               |           |           |           |           |           |           |
| 2.  | <i>AG-Sun Control</i> | 20%               |           |           |           |           |           |           |
|     |                       | 40%               |           |           |           |           |           |           |
|     |                       | 60%               |           |           |           |           |           |           |
|     |                       | 80%               |           |           |           |           |           |           |
| 3.  | <i>Sun Protect</i>    | 20%               |           |           |           |           |           |           |
|     |                       | 40%               |           |           |           |           |           |           |
|     |                       | 60%               |           |           |           |           |           |           |
|     |                       | 80%               |           |           |           |           |           |           |

Data akan ditampilkan pada LCD 16 x2 dengan tampilan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10.** Tampilan Data pada LCD

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran serapan UV yang telah dilakukan dengan berbagai sampel kaca film, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Sensor UVM-30A yang digunakan untuk mendeteksi UV dari LED UV 395 nm memiliki respon tegangan terbesar pada jarak 0 m, yaitu 3,817 V. Semakin kecil jarak antara LED dengan sensor, maka semakin besar respon tegangan sensor.
2. Pengujian serapan UV dilakukan dengan jarak antara sensor dengan LED UV adalah 6 mm, dengan respon tegangan yang masuk ke mikrokontroler ATmega8535 melalui port A.0 sebesar 3,68 V.
3. Mikrokontroler ATmega8535 sebagai pengolah data serapan menggunakan program berekstensi *.hex* yang dibuat dengan menggunakan *software* BASCOM AVR. Data serapan kemudian ditampilkan di LCD 16 x 2.
4. Pengukuran serapan UV pada kaca film diperoleh data serapan UV yang paling kecil pada kaca film *Sun Protect* pada tingkat kegelapan 20% dengan rata-rata serapan yaitu 20,045%. Sedangkan serapan UV yang paling besar pada kaca film *Sun Protect* dengan tingkat kegelapan 80%, yaitu 75,872%. Semakin besar tingkat kegelapan kaca film maka semakin besar pula nilai serapan ultraviolet.

## **B. Saran**

Sebagai referensi untuk pengembangan alat serapan UV, dapat dilakukan penelitian menggunakan sumber UV alami, yaitu matahari. Dengan sumber matahari, *input* awal respon sensor terhadap matahari dapat dimasukkan secara manual dengan menggunakan *keypad* agar dapat diproses dengan menggunakan mikrokontroler atau arduino.

## DAFTAR PUSTAKA

- Admindri. 2013. Manfaat Kaca Film.  
*<http://drive.web.id/kaca-dan-window/apa-manfaat-kaca-film>*. Diakses pada tanggal 30 Januari 2015 pada pukul 15.26 WIB.
- Alonso, Marcelo dan Edward J. Finn. 1992. *Dasar – Dasar Fisika Universitas Edisi kedua Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.
- Ariyadi, T. dan Dewi, S. Sinto. 2009. Pengaruh Sinar Ultraviolet terhadap Pertumbuhan Bakteri *Bacillus sp.* Sebagai Bakteri Kontaminan. *Jurnal Kesehatan* Vol. 2, No. 2, PP. 20-25.
- Balin, A.K and Allen B.G. 1986. Mechanisms of biologic aging. *Journal of Dermatol Clin* Vol. 4, PP. 347-358.
- Birtalan, Dave and William Nunley. 2009. *Opotoelectronic Infrared – Visible – Ultraviolet Devices and Applications Second Edition*. CRC Press. United States of America.
- Bejo, Agus. 2008. *C dan AVR Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler ATMega8535*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Chang, Ni-Bin, Rui Feng, Zhiqiang Gao, Wei Gao. 2010. Skin Cancer Incidence is Highly Associated with Ultraviolet-B Radiation History. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* Vol. 213, No. 5, PP. 359-368.
- Environmental Health Perspectives*. 2012. UV Radiation an Skin Cancer: The Science behind Age Restrictions for Tanning Beds. *Journal of Environmental Health*, Vol 120, No. 8, PP. 308-313.
- Fraden, J..2004. *Handbook of Modern Sensor Physics, Design and Application*. Springer-Verlag. New York.
- Gilchrest B.A, Murphy G.F, Soter N.A. 1982. Effect of chronologic aging and ultraviolet irradiation on Langerhans cells in human epidemis. *Journal of Investigative Dermatology* Vol 79, No. 2, PP. 85-88.

- Hallwell, B. and Gutteridge JMC. 1985. The importance of free radical and catalytic metal ions in human disease. *Molec Aspect Med* Vol. 8, PP. 89-193.
- Hayt, William H., and Jack E. Kemmerly. 2004. *Rangkaian Listrik Jilid 1 Edisi Keempat*. Erlangga. Jakarta.
- Ichwan, Muhammad, Wiewiek Eka Mulyani, Nono C.. 2004. *Pedoman Praktikum Teknologi Persiapan Penyempurnaan*. STT Tekstil. Bandung.
- Jati, Bambang Murdaka Eka dan Tri Kuntoro Priyambodo. 2010. *Fisika Dasar Listrik- Magnet, Optika, Fisika Modern*. Andi. Yogyakarta.
- John D., Kraus. 1988. *Antennas: Series in Electrical Engineering Second Edition*. McGraw-Hill. New York.
- Kurniady, Eko. 2014. Perawatan Kaca film pada mobil.  
<http://forum.solusisahabat.com/showthread.php?3390-Tips-merawat-kaca-film-pada-mobil>. Diakses pada tanggal 1 Maret 2015 pukul 15.14 WIB.
- Kurniawan, I.. 2013. *Sensor dan Tranduser*. Diktat Kuliah. Politeknik Jambi. Jambi.
- Lucas, Robyn, Tony McMichael, Wayne Smith, Bruce Armstrong. 2006. *Solar Ultraviolet Radiation: Environmental Burden of Disease Series No 13*. World Health Organization (WHO). Geneva.
- Mahindra, Ricko, Awitdrus dan Usman Malik. 2015. Pengaruh Serapan Sinar Matahari oleh Kaca Film terhadap Daya Keluaran Plat Panel Surya. *Jurnal Online Mahasiswa FMIPA* Vol. 2, No.1, PP. 123-131.
- Misra, Prabhakar and Mark A. Dubinskii. 2002. *Ultraviolet Spectroscopy and UV Lasers*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Mounaouer, Brahmi and Hassen Abdennaceur. 2012. Ultraviolet Radiation for Microorganism Inactivation in Wastewater. *Journal of Environmental Protection* Vol. 3, PP. 194-202.
- Muis, Saludin. 2013. *Prinsip Kerja LCD dan Pembuatannya (Liquid Crystal Display)*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Nasution, Nurmalia. 2015. Implementasi Sensor Fotodiode Sebagai Pendeteksi Serapan Sinar Infra Merah Pada Kaca. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Pujiono. 2012. *Rangkaian Elektronika Analog Edisi Pertama*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

- Putra, A.E.. 2002. *Belajar Mikrokontroler : Teori dan Aplikasi*. Gava Media. Yogyakarta.
- Sarojo, Ganijanti Aby. 2011. *Gelombang dan Optika*. Salemba Teknika. Jakarta.
- Sears, Francis Weston and Mark W. Zemansky. 1987. *Fisika Untuk Universitas 3 Optika & Fisika Modern*. Binacipta. Jakarta.
- Setiati, Siti. 2008. Pengaruh Paparan Sinar Ultraviolet B Bersumber dari Sinar Matahari terhadap Konsentrasi Vitamin D (25(OH)D) dan Hormon Paratiroid pada Perempuan Usia Lanjut Indonesia. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional* Vol. 2, No. 4, PP. 147-153.
- Setiawan, Dwi. 2011. Perambatan Cahaya pada Pandu Gelombang Makro Berbentuk Trapesium. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Sidharta, A. dan Indrawati. 2009. *Benda, Sifat dan Kegunaannya*. PP.PP.TK IPA. Bandung.
- Smith, Francis Graham and John Hunter Thomson. 1971. *Optics Second Edition*. University of Manchester. Great Britain.
- Soedjojo, Peter. 1998. *Azas-azas Ilmu Fisika Jilid 2*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sutarno, 2013. *Fisika Untuk Universitas Edisi Pertama*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Trewartha, G.T.. 1980. *An Introduction to Climate 4th Edition*. McGraw-Hill Book. Co. Tokyo.
- Van der Meijs, ing P. J. M.. 1983. *Fisika Bangunan*. Erlangga. Jakarta.
- Wallace, J.M. and Hobbs, P.V..1977. *Atmospheric Science: An Introductory Survey*. Academic Press. New York.
- Workman, Jerry. 1998. *Handbook of Organic Compounds: NIR, IR, Raman, and UV-Vis Spectra Featuring Polymers and Surfactants*. Academic Press. Boston.
- United States Environmental Protection Agency. 2010. *UV Radiation. Air and Radiation*. EPA 430-F-10-025. United States.