

Pengembangan Model Pengukuran Intensitas Cahaya dalam Fotometri

¹W. Hartati & ²Suprijadi

¹Program Magister Pengajaran Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITB

Jl. Ganesha no. 10 Bandung 40132

²MTsN Pasir Bungur

Jl. Leuwidmar Km. 12 Cimarga Lebak

wetty_itb@yahoo.co.id

Received date : 4 Oktober 2010

Accepted date : 18 Oktober 2010

Abstrak

Cahaya merupakan salah satu besaran fisis yang harus dipahami fenomenanya sejak dini. Pemahaman fenomena fisis di tingkat sekolah menengah pada umumnya berbasis pada teori, dikarenakan kurangnya peralatan eksperimen cahaya yang berharga cukup mahal. Pada penelitian ini dikembangkan model eksperimen pengukuran intensitas cahaya yang menggunakan alat ukur yang dikembangkan secara mandiri. Dengan menggunakan kombinasi Fotosel dan mikrokontroler telah dibangun sistem pengukuran intensitas cahaya dengan kesalahan relatif 3,5% pada rentang pengukuran 100 lux sampai dengan 5000 lux.

Kata kunci: intensitas cahaya, fotometri, fotosel, mikrokontroler

Abstract

Light is one of physical quantities which its phenomena must be introduced from an early age. A theoretical based approach is generally used to teach about lighting phenomena at the junior and high school level, but lack of experiments because of the equipments are quite expensive. This research has developed a light intensity measurement model using the instruments which assembled independently. Light intensity measurement system is built by combination of photocell and microcontroller, and has 3.5% relative error at range 100 - 50000 lux.

Keywords: light intensity, photometry, photocell, microcontroller

1 Pendahuluan

Cahaya mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari misalnya cahaya lampu, dimana iluminansi cahaya bergantung pada jarak terhadap sumber cahaya tersebut. Metode eksperimen merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam pembelajaran di ASISTM (Australia School Inovation in Science, Technology & Mathematics). Dalam Percobaan intensitas cahaya yang menyelidiki hubungan iluminansi cahaya dan jarak dari sumber cahaya dengan menggunakan luxmeter [1]. Selain itu, Pencahayaan merupakan salah satu faktor penting dalam desain dan operasionalisasi sarana pendidikan. Ruang kelas adalah salah satu sarana dengan aktivitas utama baca-tulis, sehingga iluminansi cahaya minimum yang diharapkan adalah 250 lux. Sedangkan standar di negara kita tentang iluminansi cahaya untuk kelas yaitu 200 - 300 lux [2].

Besarnya iluminansi cahaya perlu untuk diketahui karena pada dasarnya manusia memerlukan pencahayaan yang cukup. Iluminansi cahaya adalah suatu besaran fisika yang sangat mempengaruhi kondisi suatu tempat misalnya kelembaban, suhu dan lain-lain. Alat untuk mengukur iluminansi cahaya adalah luxmeter atau light meter. Akan tetapi, alat ukur ini agak sulit diperoleh dan harga alat tersebut terlalu mahal sehingga hanya dapat ditemukan di laboratorium sekolah tertentu atau perguruan tinggi.

Pemahaman fenomena fisis mengenai cahaya di tingkat SMA/MA dan SMP/MTs pada umumnya berbasis pada teori, dikarenakan kurangnya peralatan eksperimen cahaya yang berharga cukup mahal. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dibuat alat ukur iluminansi cahaya.

Implementasi dari alat ukur ini dapat digunakan untuk kegiatan proses pembelajaran di sekolah berbasis penelitian dan kontekstual dengan tujuan siswa dapat belajar banyak tentang manfaat dari alat ukur iluminansi cahaya dalam kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, dalam penelitian ini juga dibuat desain alat praktikum untuk menentukan intensitas cahaya

2 Teori Dasar

Fotometri adalah ilmu yang mempelajari tentang pengukuran kuantitas cahaya. Cahaya yang dimaksud adalah cahaya tampak, dimana cahaya tampak merupakan salah satu jenis gelombang elektromagnetik.

2.1 Intensitas Cahaya (I) dan Fluks Cahaya (Φ)

Luminous intensity atau intensitas cahaya I didefinisikan sebagai banyaknya fluks cahaya yang memancar Φ per sudut ruang ω :

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (1)$$

Total sudut ruang adalah $\omega = 4\pi$ (Steradian). Fluks cahaya adalah besarnya intensitas cahaya yang memancar pada sudut ruang tertentu [3].

2.2 Iluminansi Cahaya

Iluminansi cahaya adalah sinar yang jatuh (datang) pada sebuah permukaan atau fluks cahaya yang menerangi bidang tiap satu satuan luas, sehingga dapat ditulis persamaan

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2)$$

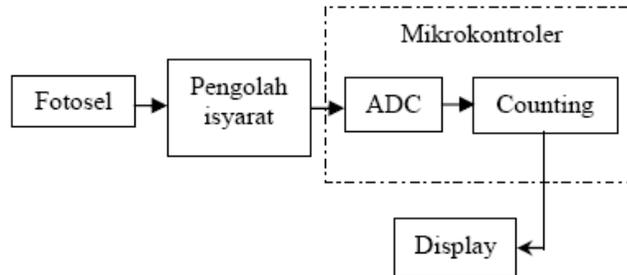
Karena fluks cahaya yang memancarkan dari titik seluruh ruang adalah $\Phi = 4\pi I$ dan luas permukaan bola adalah $A = 4\pi R^2$, suatu sumber intensitas cahaya I menghasilkan iluminansi total adalah

$$E = \frac{I}{R^2} \quad (3)$$

Ini menunjukkan bahwa iluminansi pada jarak R berbanding lurus terhadap intensitas cahaya sumber dan berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak [4].

3 Desain Alat dan Pengukuran

Dalam perancangan sistem alat ukur intensitas cahaya, dibuat diagram blok yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



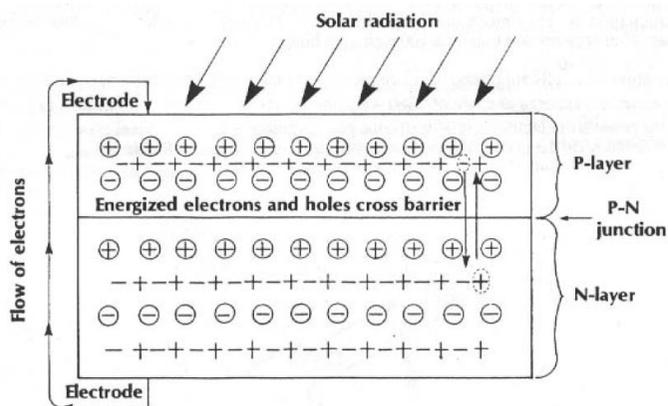
Gambar 1 Diagram blok rancangan alat

Sesuai dengan diagram blok di atas, maka sistem ini terdiri atas:

1. Sensor cahaya yang digunakan adalah fotosel.
2. Pengolah isyarat terdiri dari operational amplifier (op amp) yaitu IC LM358 dan rangkaian filter yaitu filter aktif sallen-key butterworth.
3. Mikrokontroler dalam penelitian ini adalah mikrokontroler AVR tipe Atmega8.
4. Seven-segmen berfungsi untuk menampilkan angka-angka yang diterima dari mikrokontroler

3.1 Sensor Cahaya

Sensor cahaya yang digunakan adalah fotosel atau fotovoltaiik sel. Fotovoltaiik sel diberi nama demikian sesuai dengan apa yang dilakukannya: yaitu mengkonversi cahaya ("foto") menjadi listrik ("voltaic"). Sel ini terbuat dari bahan semikonduktor. Elektron dalam atom semikonduktor tidak bebas untuk bergerak kecuali mendapatkan sejumlah energi. Elektron ini dapat memperoleh energi dari cahaya yang mengenai semikonduktor pada fotosel.



Gambar 2 Diagram penampang fotosel

Ketika menyinari fotosel, cahaya memiliki sekumpulan energi yang disebut foton, sehingga semakin besar frekuensi cahaya, semakin besar pula energi foton tersebut. Jika energi foton cukup besar, ini dapat memberikan energi pada elektron dan membebaskannya dari ikatan kovalen. Dengan demikian terjadi penyeberangan elektron pada sisi-p di *p-n junction* ke semikonduktor tipe-n, elektron akan bebas bergerak dan menghasilkan arus listrik. Jika fotosel tersebut dihubungkan ke rangkaian listrik, elektron akan mengalir dari semikonduktor tipe-n melalui rangkaian menuju semikonduktor tipe-p, seperti halnya elektron bergerak dari terminal negatif pada sebuah baterai ke terminal positif. Energi yang diperoleh dari cahaya sama seperti energi yang diperoleh elektron dari baterai [5].

Fotosel yang digunakan mempunyai keluaran maksimum sebesar 200 mV. Keluaran ini perlu diperkuat sehingga dapat mencapai masukan maksimum untuk ADC yang digunakan yaitu 2,56 V. Oleh karena itu dibuatlah opamp non inverting.

3.2 Pengolah Isyarat

Pengolah isyarat terdiri dari penguat isyarat jenis noninverting dengan penguatan 11 kali dan rangkaian filter. Rangkaian filter yang digunakan yaitu filter aktif sallen-key butterworth dengan frekuensi pole sebesar 7,2 Hz. Dengan nilai frekuensi tersebut, maka frekuensi noise diatas 7,2 Hz diblok oleh filter ini.

3.3 Mikrokontroler

Pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler AVR dengan tipe Atmega8 yang banyak digunakan untuk sistem relatif sederhana dan berukuran kecil.

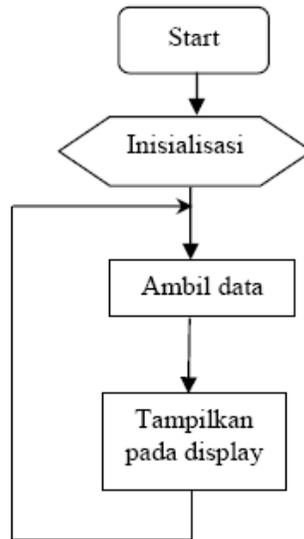
3.3.1 Konverter Analog ke Digital (ADC)

Mikrokontroler ATmega8 memiliki fasilitas konverter analog ke digital yang sudah built-in dalam chip. Fitur ADC internal inilah yang menjadi salah satu kelebihan mikrokontroler ATmega8 bila dibandingkan dengan beberapa jenis mikrokontroler yang lain. Dengan adanya ADC internal tidak direpotkan lagi dengan kompleksitas hardware saat membutuhkan proses pengubahan sinyal dari analog ke digital seperti yang harus dilakukan jika memakai komponen IC ADC internal. Sinyal input ADC tidak boleh melebihi tegangan referensi.

ATmega8 memiliki resolusi ADC 10-bit, sinyal input dari pin adc akan dipilih oleh multiplexer (register ADMUX) untuk diproses oleh ADC. Karena converter ADC dalam IC hanya satu buah dan saluran inputnya ada delapan maka dibutuhkan multiplexer untuk memilih input pin adc secara bergantian. ADC mempunyai catu daya yang terpisah yaitu pin AVCC-AGND. AVCC tidak boleh berbeda $\pm 0,3$ V dari Vcc.

Operasi adc membutuhkan tegangan referensi Vref dan clock fade (register ADCSRA). Tegangan referensi eksternal pada pin Aref tidak boleh melebihi AVCC. Tegangan referensi eksternal dapat di decouple pada pin Aref dengan kapasitor untuk mengurangi noise atau dapat menggunakan tegangan referensi internal sebesar 2,56 V (pin AREF diberi kapasitor secara eksternal untuk menstabilkan tegangan referensi internal). GND (0 volt) adalah nilai minimum yang mewakilimai ADC dan nilai maximum ADC diwakili oleh tegangan pada pin AREF. Hasil konversi ADC disimpan dalam register pasangan ADCH:ADCL [6].

3.4 Pencacahan Sinyal



Gambar 3 Flowchart program alat ukur iluminansi cahaya

Program dimulai setelah beberapa saat catu daya dinyalakan, pada awal program dilakukan inisialisasi fungsi keadaan awal port, variabel global yang digunakan, konfigurasi referensi, multiplekser untuk ADC dan timer/counter 1 dan 2. Setelah semua diinisialisasi, maka ADC mulai mengambil data, data yang diambil dari ADC kemudian dimasukkan ke dalam persamaan. Hasilnya kemudian disimpan ke dalam memori. Tahap berikutnya adalah menampilkan data hasil dari persamaan ke display.

Setelah data ditampilkan, dilakukan penundaan untuk pengambilan data berikutnya. Penundaan ini diperlukan agar pembacaan ADC tidak terlalu cepat. Sehingga perubahan pada display juga tidak terlalu cepat. Ini diperlukan untuk menyesuaikan perubahan display dengan kecepatan pembacaan mata. Lamanya penundaan adalah sekitar 250 ms, artinya ada perubahan display setiap 1 detik.

Setelah melalui penundaan, program kembali ke pengambilan data oleh ADC, dan data kembali ditampilkan pada display.

4 Hasil dan Pembahasan

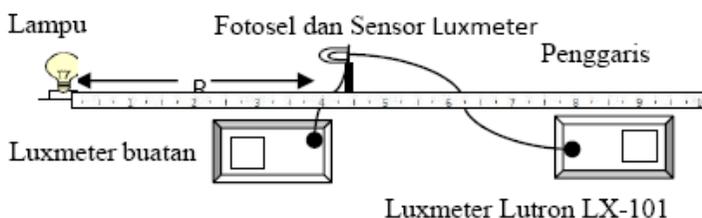
4.1 Kalibrasi Alat Ukur Iluminansi Cahaya

Dalam pembuatan alat ukur, sebelum alat ukur tersebut dapat digunakan terlebih dahulu dilakukan proses kalibrasi. Kalibrasi merupakan suatu proses yang penting dimana dilakukan perbandingan alat ukur dengan instrument standar yang memiliki keakuratan yang tinggi untuk mendapatkan, menyesuaikan, mengoreksi dan membuktikan kebenaran keakuratan alat yang dibandingkan [7].

Untuk mengkalibrasi sensor cahaya yang dibuat, perlu diketahui hubungan antara tegangan yang dihasilkan sensor cahaya dengan iluminansi cahaya yang diterima sensor. Oleh karena

itu diperlukan beberapa data tegangan keluaran dari rangkaian analog sensor cahaya dan besar iluminansi cahaya yang diterima sensor [7].

Kalibrasi alat ukur iluminansi cahaya dilakukan dengan mengubah jarak antara sumber cahaya ke sensor yaitu 11-100 cm seperti pada Gambar 4. Sebagai alat ukur referensi digunakan Luxmeter Lutron LX-101. Untuk mendapatkan sumber cahaya digunakan sebuah bola lampu pijar Philips 220V/100 watt. Kalibrasi dilakukan di dalam sebuah ruangan gelap.



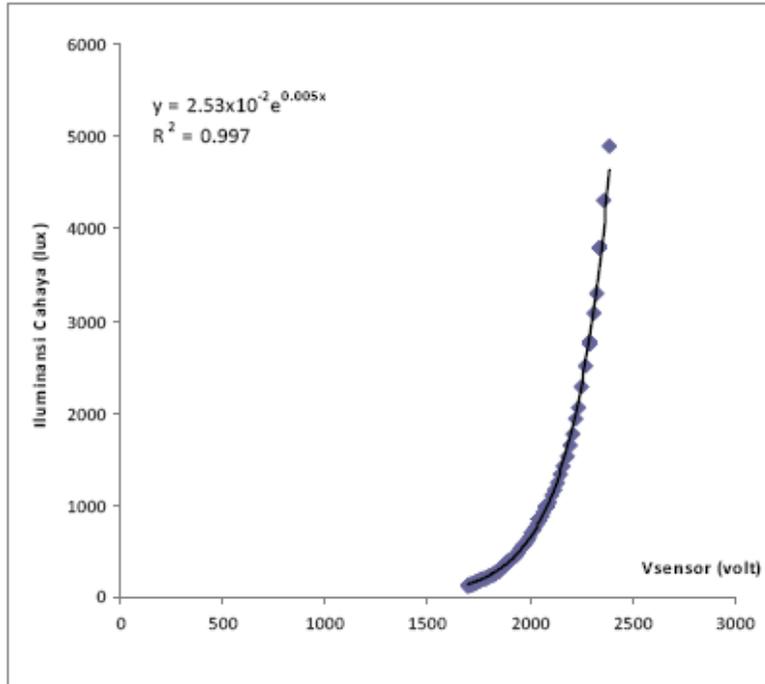
Gambar 4 Kalibrasi alat ukur

Setelah dilakukan pengambilan data untuk kalibrasi sensor maka dibuat kurva hubungan antara tegangan sensor dan iluminansi cahaya. Dari Gambar 5 tampak bahwa kurva hubungan iluminansi cahaya dan tegangan sensor berbentuk eksponensial. Oleh karena itu kurva tersebut dapat didekati dengan fungsi eksponensial agar menghasilkan kesalahan yang kecil. Dari kurva di atas diperoleh persamaan aproksimasi yaitu:

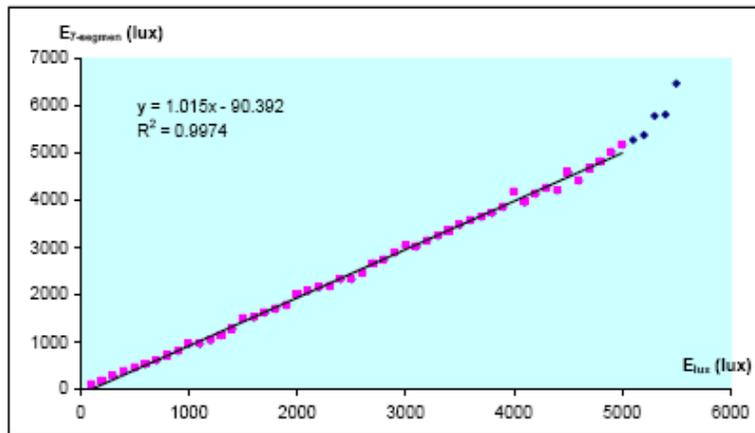
$$y = 2.53 \times 10^{-2} e^{0.005x} \tag{4}$$

Dengan menggunakan persamaan ini diperoleh tingkat kesalahan yang cukup kecil jika dibandingkan dengan model yang lainnya, hal itu ditandai dengan nilai R² yang mendekati 1. Jika persamaan ini diaplikasikan pada tegangan keluaran sensor maka diharapkan hasil yang mendekati nilai iluminansi cahaya yang diberikan. Setelah persamaan dimasukkan, dilakukan pengujian hasil proses kalibrasi yang dilakukan dengan membandingkan hasil data 7-segmen dari sensor dan data dari luxmeter.

Untuk variasi iluminansi cahaya, sama seperti sebelumnya dimana data diambil dengan mengubah jarak sumber cahaya dan sensor cahaya. Kurva perbandingan hasil kalibrasi sensor dan nilai iluminansi cahaya dari luxmeter dapat dilihat pada Gambar 6.

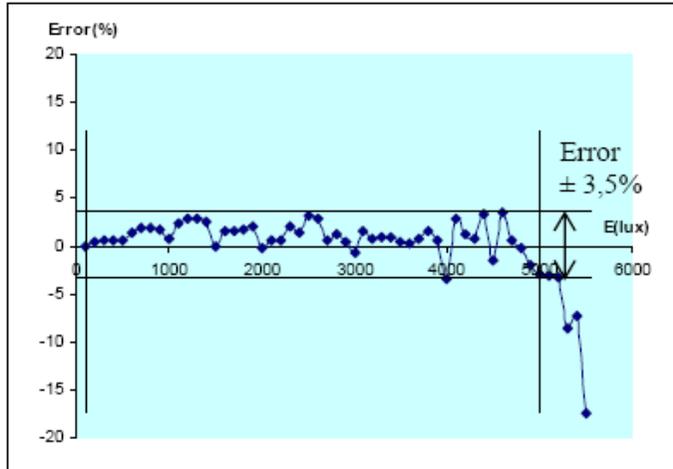


Gambar 5 Kurva hubungan iluminansi cahaya dan tegangan keluaran sensor



Gambar 6 Perbandingan antara $E_{7\text{-segmen}}$ dan E_{lux}

Gambar 7 menunjukkan gambar kurva kesalahan relatif hasil kalibrasi sensor.

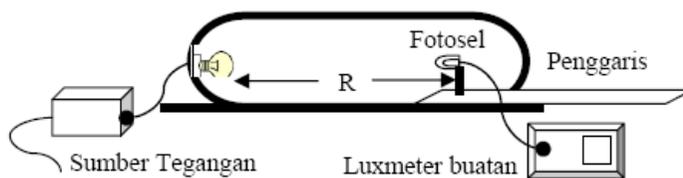


Gambar 7 Kurva kesalahan relatif hasil kalibrasi sensor

Berdasarkan kurva di atas diperoleh bahwa kesalahan relatif hasil kalibrasi sensor yaitu maksimum terjadi pada E_{lux} 4000 lux sebesar -3,53% dan minimum terjadi pada E_{lux} 1500 lux dan 100 lux sebesar -0,07%. Oleh karena itu, kesalahan maksimum yang dapat diterima sebesar $\pm 3,5\%$, maka range alat ukur dimulai dari 100 lux sampai 5000 lux.

4.2 Implementasi Alat Ukur Iluminansi Cahaya

Tujuan dari pembuatan alat ukur ini adalah untuk mengukur intensitas cahaya dengan cara mengukur iluminansi cahaya dari berbagai variasi lampu. Dalam penelitian ini pengukuran intensitas dilakukan dengan cara memvariasikan jarak antara sumber cahaya dengan sensor cahaya untuk masing-masing lampu. Interval jarak yang digunakan yaitu 5 cm dimulai dari 15 cm sampai 100 cm. Variasi lampu yang digunakan yaitu lampu 100 W, 75 W, 60 W, dan 40 W. Adapun penggunaan variasi lampu yaitu untuk mencari perbedaan intensitas lampu tersebut.



Gambar 8 Rancangan alat percobaan untuk mengukur intensitas cahaya

Secara teori perubahan iluminansi cahaya berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya, ini sesuai dengan persamaan (3). Sehingga dengan membuat grafik E terhadap $1/R^2$ dan kemudian didekati dengan persamaan linier akan diperoleh besar intensitas melalui gradien kurva. Misalkan diperoleh persamaan linier.

$$E = \frac{a}{R^2} + b \tag{5}$$

maka intensitas yang diperoleh adalah a , satuannya adalah lm/sr . Sedangkan E dalam lux (lm/m^2) dan R dalam meter.

Grafik E dan $1/R^2$ dibuat untuk masing-masing lampu, sehingga untuk masing-masing lampu tersebut diperoleh satu persamaan. Dengan demikian, dari persamaan ini akan diperoleh intensitas dari lampu yang diuji. Hasil pengukuran untuk variasi lampu grafik dapat dilihat pada Gambar 9.

Untuk no.1 merupakan lampu 100 W, diperoleh kurva cukup linier dengan $R^2 = 0,9982$. Dari Gambar 9 diperoleh

$$E = \frac{128.23}{R^2} + 154.9 \quad (6)$$

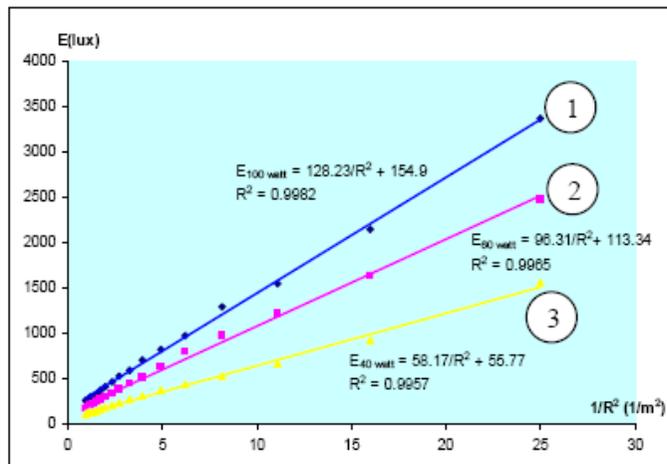
Menurut persamaan (3) gradien persamaan linier dari grafik E terhadap $1/R^2$ merupakan intensitas dari cahaya, maka untuk lampu 100 W diperoleh intensitas cahaya sebesar 128,23 candela. No. 2 yaitu untuk lampu 60 W diperoleh persamaan linier:

$$E = \frac{96.31}{R^2} + 113.34 \quad (7)$$

dengan demikian dapat diketahui intensitas cahaya untuk lampu 60 W, yaitu sebesar 96,31 candela. Untuk No. 3 yaitu lampu 40 W, dari gambar 9 diperoleh persamaan:

$$E = \frac{58.17}{R^2} + 55.77 \quad (8)$$

dengan demikian didapatkan besar intensitas cahaya untuk lampu 40 W yaitu sebesar 58,17 candela.



Gambar 9 Kurva jarak dan iluminansi cahaya untuk variasi lampu yang berbeda

Dari hasil ini dapat dilihat bahwa untuk lampu dengan watt lebih kecil memiliki intensitas cahaya yang lebih kecil dari pada lampu dengan watt lebih besar. Ini sesuai dengan daya listrik yang dikonsumsi oleh lampu tersebut, semakin besar daya listrik yang dikonsumsi maka semakin besar pula intensitas cahaya yang dipancarkan. Dengan demikian pola ini

akan dipenuhi untuk lampu yang lain. Dimana semakin kecil dayanya semakin kecil juga intensitas cahayanya.

5 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan yaitu sebagai berikut:

1. Telah dikembangkan model pengukuran intensitas cahaya dalam fotometri dengan mempelajari hubungan jarak terhadap iluminasi cahaya.
2. Alat yang dibuat memiliki kesalahan relatif maksimum pada Elux 4000 lux sebesar -3,53% dan minimum pada Elux 1500 lux dan 100 lux sebesar -0,07%, sehingga kesalahan relatif yang dapat diterima sebesar $\pm 3,5\%$ dengan range pengukuran antara 100 lux sampai 5000 lux.
3. Dengan mengubah jarak sensor ke sumber cahaya dapat ditentukan intensitas cahaya.

6 Referensi

- [1] <http://com/experiments/physics/34-Inverse-square-SV.pdf> - 2008-10-23.
- [2] Darmasetiawan, C. and Puspakesuma, L. 1991, Teknik Pencahayaan dan Tata Letak Lampu, Gramedia, Jakarta.
- [3] Frederick Bueche, David L. Wallach., 1994, *Technical Physics 4th Ed*, John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Sears, Francis Weston., 1948, *Principles of Physics III Optics*, Addison-Wesley Press, Inc.
- [5] John C. C. Fan, "Solar Cells: Plugging into the Sun," *Tech. Rev.*, 80 (7), 14 (Aug/Sep 1978).
- [6] Winoto, Ardi., 2008, Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan Pemrograman dengan Bahasa C pada WinAVR, Penerbit Informatika, Bandung.
- [7] Cable, Mike., 2005, *Calibration: A Technician's Guide*, The International Society of Automation.

7 Ucapan Terima Kasih

1. Departemen Agama RI yang telah memberikan beasiswa dan FMIPA ITB dalam kerangka kerjasama Program Magister Pengajaran Fisika tahun 2007-2009.
2. MTsN Pasir Bungur Cimarga yang telah memberikan kesempatan untuk mengikuti Program Magister Pengajaran Fisika ITB.
3. Staf Pengajar Program Magister Pengajaran Fisika ITB