

## PEMBUATAN SISTEM PENGUKURAN DURASI PENYINARAN MATAHARI BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA8535 MENGGUNAKAN SENSOR LDR

Ridho Pratama\*, Asrizal\*\*, Zuhendri Kamus\*\*

\*Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNP Padang

\*\*Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA UNP Padang  
[bongridho@yahoo.com](mailto:bongridho@yahoo.com)

**Abstract**-The purpose of this reseach was to make measurement system of the sunshine duration based on microcontroller ATMEGA8535 which used LDR sensor. This system was expected to measure light intensity and sunshine duration with good performance and design specifications. The collection of data was done directly and indirectly measurement. Direct measurements were done to get output voltage, light intensity and sunshine duration. Indirect measurements were done to get accuracy and precision of system. Performance specifications of this system were built by power supply, LDR sensor, voltage divider circuit, microcontroller ATMEGA8535, and LCD. While design specification consist of five result. First, output voltage was logarithmic of light intensity. Second, on the first day there were three intervals duration of sunshine with a total sunshine duration was 184 minutes, while on the second day there were three interval duration of sunshine with a total sunshine duration was 440 minutes. Third, the accuracy measuring of the light intensities was 97.145%. Fourth, the precision measuring of the light intensities was 0.965. Fifth, the accuration measuring of the sunshine duration was 93.64%.

**Keyword:** System, Sensor, LDR, Sunshine Duration, Microcontroller

### PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mampu menghasilkan berbagai instrumen yang teliti dan praktis. Perkembangan teknologi dibidang elektronika telah menghasilkan komponen-komponen elektronika yang canggih seperti sensor, sistem pengolahan sinyal, pengontrolan, instrumen pengukuran, dan lain-lain. Instrumen yang dihasilkan berguna untuk mempermudah pekerjaan manusia. Salah satunya adalah untuk pengamatan gejala-gejala alam seperti cuaca.

Cuaca merupakan gabungan dari gejala-gejala alam yang menentukan kondisi udara pada suatu daerah dalam jangka waktu tertentu. Cuaca terdiri dari beberapa unsur diantaranya temperatur udara, tekanan udara, angin, keadaan awan, curah hujan, kelembaban udara, dan penyinaran matahari<sup>[10]</sup>. Telah diketahui bahwa cuaca berpengaruh terhadap kehidupan manusia. Cuaca mempengaruhi bidang pertanian, transportasi, industri, bahkan jenis pakaian yang akan digunakan setiap harinya. Fakta menunjukkan cuaca juga sering menimbulkan bencana seperti badai, banjir, dan kekeringan. Melalui pengamatan dan perkiraan cuaca manusia dapat merencanakan dan melakukan kegiatan sesuai dengan yang diharapkan. Dengan demikian pengamatan terhadap cuaca penting untuk dilakukan.

Penyinaran matahari merupakan salah satu unsur cuaca yang penting. Matahari adalah sumber energi terbesar untuk atmosfer bumi. Matahari yang menjadi sumber energi untuk kehidupan memberikan dampak yang besar bagi gejala-gejala alam nabati, hewani dan gejala alam non biologik seperti perubahan cuaca<sup>[11]</sup>. Permukaan matahari dengan suhu sekitar 6000K memancarkan radiasi sebesar  $73,5 \text{ MW/m}^2$ . Energi radiasi yang sampai di permukaan atmosfer bumi sekitar  $1368 \text{ Wm}^{-2}$  nilai ini disebut dengan konstanta matahari<sup>[7]</sup>. Tidak seluruh energi matahari mencapai permukaan bumi karena

sebagian energi radiasi dipantulkan dan diserap oleh atmosfer bumi. Perbandingan antara jumlah energi yang dipantulkan dengan energi yang diserap oleh permukaan bumi disebut dengan albedo. Jika albedo besar maka sebagian besar energi radiasi matahari dipantulkan dan hanya sedikit yang diserap.

Sinar matahari dapat diukur intensitas dan durasi penyinarannya. Intensitas cahaya matahari yang diterima bumi saat penyinaran secara langsung antara 32.000 lux hingga 130.000 lux<sup>[8]</sup>. Intensitas cahaya dapat diukur dengan light meter. Durasi penyinaran matahari adalah lamanya matahari bersinar cerah sampai permukaan bumi dalam periode satu hari mulai dari terbit sampai terbenam yang dinyatakan dalam satuan waktu yaitu jam<sup>[6]</sup>. Durasi penyinaran matahari dapat diukur dengan menggunakan alat perekam penyinaran matahari yaitu *Campbell Stokes*.

Sejak tahun 1962 alat tipe *Campbell Stokes* oleh WMO ditentukan sebagai alat baku untuk mengukur lama penyinaran matahari. *Campbell Stokes* terdiri dari sebuah bola kaca berdiameter 10-15 cm dan kertas pias. Bola kaca dipergunakan untuk memfokuskan sinar matahari secara terus menerus tanpa terpengaruh oleh posisi matahari. Bentuk fisik *Campbell Stokes* dapat dilihat pada Gambar 1.



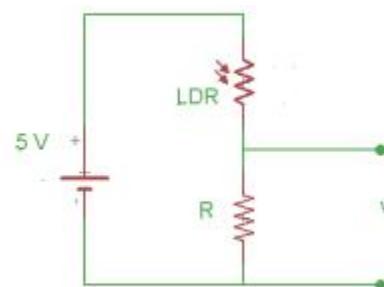
Gambar 1. Campbell Stokes

Panjang jejak/bekas bakar menunjukkan lamanya penyinaran matahari. Durasi penyinaran matahari dicatat dengan jalan memfokuskan sinar matahari tepat mengenai kertas pias yang dibuat khusus untuk alat ini dan hasilnya pada akan terlihat bagian yang terbakar. Pada kertas pias terdapat skala jam, sehingga dapat dijumlahkan berapa lamanya matahari bersinar terang<sup>[3]</sup>. Jika intensitas sinar matahari lebih dari 32.000 lux, maka sinar matahari yang telah difokuskan akan mampu membakar kertas pias. Jika matahari bersinar sepanjang hari dan mengenai alat ini, maka akan diperoleh jejak pias terbakar yang tidak terputus. Disisi lain jika matahari bersinar terputus-putus, maka jejak dipiaspun akan terputus-putus. Durasi penyinaran matahari diukur dengan cara menjumlahkan panjang bekas pembakaran pada kertas pias. Data durasi penyinaran matahari dapat digunakan untuk mengetahui waktu penyinaran matahari di suatu daerah, sebagai bahan perkiraan cuaca, pengembangan energi surya, penelitian mengenai cuaca dan iklim.

*Campbell Stokes* yang digunakan saat ini masih memiliki beberapa kelemahan. Pertama, kertas pias pencatat didesain untuk pengukuran selama satu hari, sehingga setiap hari harus diganti dengan kertas pias yang baru. Kedua, resolusi data durasi penyinaran matahari yang diperoleh kurang baik, yaitu dalam satuan jam. Ketiga, hasil pengukuran masih dalam bentuk analog dan data pengukuran yang didapatkan hanya durasi penyinaran, sedangkan intensitas cahaya matahari tidak terukur pada alat tersebut. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian untuk menghasilkan instrumentasi yang dapat mengindera dan mengukur penyinaran matahari lebih yang intensif dengan cara mengkombinasikan rangkaian elektronika dengan sensor cahaya yang sesuai.

Sensor merupakan sebuah alat yang menerima stimulus dan memberikan sinyal respon dari stimulus tersebut<sup>[5]</sup>. Pada suatu sistem instrumentasi, sensor berfungsi sebagai gerbang isyarat masukan (input). Ada beberapa sensor cahaya yang dapat digunakan untuk mengindera penyinaran matahari. Salah satu diantaranya adalah *Light Dependent Resistors* (LDR). LDR atau *Photoresistor* dibuat dari bahan semikonduktor Cadmium Sulfide (CdS) dan Cadmium Selenide (CdSe) yang nilai hambatannya berubah saat dikenai cahaya<sup>[5]</sup>. Prinsip kerja LDR berdasarkan efek fotoresistif. Pada efek fotoresistif, nilai resistansi suatu material akan berubah jika intensitas cahaya yang mengenainya berubah. Saat kondisi gelap nilai resistansi bahan tinggi. Saat terang nilai resistansi bahan menjadi kecil.

LDR merupakan komponen pasif yang memerlukan catu daya agar dapat menghasilkan tegangan keluaran. Untuk menghasilkan tegangan keluaran LDR dapat dipasang pada rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan memegang peranan penting dalam elektronika karena dapat menghasilkan tegangan sesuai dengan yang diinginkan<sup>[1]</sup>. Rangkaian pembagi tegangan yang digunakan pada sistem ini dapat dilihat pada Gambar 2.



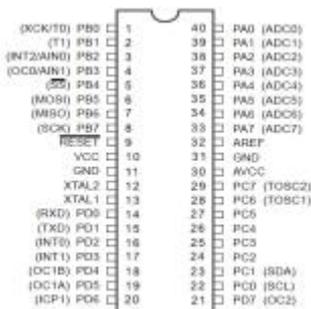
Gambar 2. Rangkaian Pembagi Tegangan

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa rangkaian pembagi tegangan terdiri dari sumber tegangan, LDR dan sebuah resistor. Tegangan dari catu daya dibagi berdasarkan nilai dari resistor dan resistensi LDR. Besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan adalah:

$$V_o = \frac{R}{R_{LDR} + R} E \quad (1)$$

Dimana  $V_o$  adalah tegangan keluaran yang dihasilkan. Resistor (R) yang digunakan bernilai 1.1 k dan  $R_{LDR}$  adalah nilai resistansi sensor LDR. E merupakan tegangan dari catu daya sebesar 5 Volt. Jika resistansi LDR berubah, maka tegangan keluaran juga akan berubah. Tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan menjadi input bagi mikrokontroler.

Mikrokontroler merupakan sebuah chip yang didalamnya memuat mikroprosesor, I/O pendukung, memori, dan ADC. Mikrokontroler digunakan untuk orientasi pengontrolan seperti pengontrol temperatur, penampil display LCD, pemroses sinyal digital, pengontrol mesin, dan sebagainya<sup>[14]</sup>. Mikrokontroler akan bekerja sesuai dengan program yang telah diberikan kepadanya. Mikrokontroler yang digunakan pada sistem pengukuran durasi penyinaran matahari ini adalah mikrokontroler ATMEGA8535.

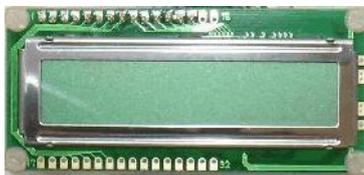


Gambar 3. Diagram Pin Mikrokontroler ATMEGA8535<sup>[4]</sup>

Mikrokontroler ATMEGA8535 mempunyai 40 kaki, 32 kaki, diantaranya adalah kaki untuk keperluan port paralel. Satu port terdiri atas 8 kaki, sehingga 32 kaki tersebut membentuk 4 port paralel, yang masing-masing dikenal dengan port A, port B, port C, dan port D. Nomor dari masing-masing kaki port paralel dimulai dari 0 sampai 7. Pada sistem ini mikrokontroler ATMEGA8535 berfungsi untuk menerima input dari rangkaian sensor, mengolah data input dan menampilkan hasil pengukuran pada LCD.

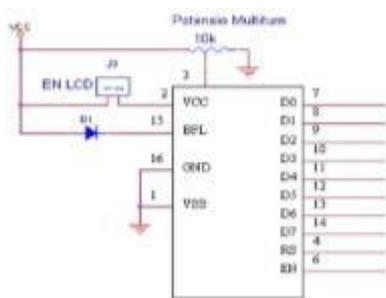
LCD merupakan salah satu perangkat yang digunakan untuk menampilkan data. LCD (*Liquid Crystal Display*)

adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menampilkan huruf, angka ataupun simbol-simbol tertentu<sup>[2]</sup>. Pada sistem pengukuran lama penyinaran matahari, LCD digunakan untuk menampilkan intensitas cahaya dan waktu penyinaran.



Gambar 4. Bentuk Fisik LCD 2x16<sup>[13]</sup>

LCD yang akan digunakan mempunyai lebar display 2 baris 16 kolom dengan 16 pin konektor atau biasa disebut sebagai LCD character 2X16. Rangkaian dasar LCD 2X16 dapat dilihat pada Gambar 5.

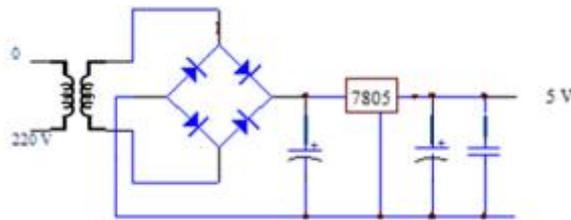


Gambar 5. Rangkaian Dasar LCD 2X16

Jalur RS adalah jalur Register Select (pin 4). Ketika RS berlogika low “0”, data akan dianggap sebagai sebuah perintah atau instruksi khusus. Ketika RS berlogika high “1”, data yang dikirim adalah data teks yang akan ditampilkan pada display LCD. Jalur RW adalah jalur Read/Write. Ketika RW berlogika low “0”, maka informasi pada pin data akan dituliskan pada layar LCD. Ketika RW berlogika high “1”, maka program akan melakukan pembacaan memori dari LCD. Jalur Enable (E) adalah untuk memberitahu LCD bahwa sedang melakukan pengiriman data. Untuk pengiriman data ke LCD, maka pin E berlogika low “0” dan set pada jalur RS dan RW<sup>[13]</sup>.

Rangkaian sensor LDR, mikrokontroler ATMEGA8535, dan LCD membutuhkan catu daya untuk beroperasi. Catu daya merupakan suatu peralatan yang sangat penting karena hampir semua peralatan elektronika memerlukan tegangan DC untuk mengoperasikannya. Power supply (catu daya) adalah suatu yang mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC<sup>[12]</sup>. Power supply menyediakan daya bagi semua blok rangkaian yang membutuhkan catu daya.

Catu daya teregulasi dapat dibangun dari IC regulator tegangan. IC regulator tegangan ini diantaranya adalah 78xx dan 79xx. Regulator IC 78xx adalah regulator tegangan positif untuk xx Volt, sedangkan 79xx adalah regulator tegangan negatif untuk xx Volt<sup>[13]</sup>. Sebagai contoh IC 7805 artinya tegangan teregulasi yang diberikan adalah 5 Volt. Dengan menggunakan komponen seperti ini, dengan mudah dapat dibuat rangkaian catu daya yang sangat baik regulasi tegangan keluarannya. Salah satu bentuk rangkaian catu daya teregulasi dapat dilihat pada Gambar 6:



Gambar 6. Rangkaian Teregulasi Tegangan

Penyearah gelombang penuh model jembatan dengan filter memerlukan empat buah dioda. Dua dioda akan berkonduksi saat isyarat positif dan dua dioda akan berkonduksi saat isyarat negatif. Rangkaian penyearah dengan empat buah dioda berfungsi mengubah tegangan AC menjadi DC yang diperlukan rangkaian. Kapasitor pada keluaran rangkaian penyearah berfungsi sebagai filter yang menghasilkan bentuk tegangan riak. Tegangan keluaran rangkaian penyearah dengan filter sebagai input pada IC 7805 sebagai regulator tegangan. Pada sistem pengukuran durasi penyinaran matahari catu daya yang digunakan hanya catu daya 5 Volt.

Penggunaan sensor LDR, mikrokontroler, *Liquid Crystal Display* (LCD), dan beberapa komponen elektronika lainnya dapat menghasilkan sistem pengukuran durasi penyinaran matahari dengan spesifikasi performansi dan desain baik. Sistem yang diharapkan dapat mengukur durasi penyinaran matahari dengan resolusi dalam satuan detik. Durasi penyinaran dapat ditampilkan pada LCD dalam bentuk digit angka sehingga lebih praktis. Selain itu juga dibutuhkan instrumen yang terdiri dari komponen-komponen yang tidak terlalu mahal dan tidak memerlukan penggantian komponen setiap harinya, sehingga lebih ekonomis.

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat sebuah sistem pengukuran durasi penyinaran matahari berbasis mikrokontroler ATMEGA8535 menggunakan sensor LDR. Tujuan khusus penelitian ini adalah untuk menentukan spesifikasi performansi dan spesifikasi desain sistem pengukuran durasi penyinaran matahari berbasis mikrokontroler ATMEGA8535 menggunakan sensor LDR. Spesifikasi performansi yang ditentukan meliputi pengidentifikasian dan penjelasan fungsi masing-masing komponen pendukung sistem. Spesifikasi desain ditentukan meliputi tegangan keluaran rangkaian sensor LDR, variasi intensitas cahaya matahari, ketepatan, dan ketelitian pengukuran intensitas cahaya dan durasi penyinaran matahari.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini tergolong kepada penelitian rekayasa yaitu penelitian yang menerapkan ilmu pengetahuan menjadi suatu rancangan, guna mendapat kinerja sesuai dengan persyaratan yang ditentukan<sup>[9]</sup>. Langkah-langkah dalam penelitian rekayasa adalah membuat rancangan sistem sesuai dengan yang dibutuhkan, membuat sistem dengan memilih alternatif yang terbaik, dan menguji cobakan sistem. Dari hasil uji coba dapat diketahui ketercapaian persyaratan yang telah ditentukan dari rancangan awal sistem.

Instrumen yang dibuat adalah sistem pengukuran durasi penyinaran matahari berbasis ATMEGA8535 menggunakan sensor LDR. Instrumen ini berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya dan durasi penyinaran matahari. Instrumen ini terdiri dari rangkaian sensor LDR, catu daya, mikrokontroler ATMEGA8535, dan LCD. Prinsip kerja instrumen ini diawali dari penginderaan sinar matahari oleh sensor LDR. Mikrokontroler menerima masukan dari rangkaian sensor, mengolah sinyal, dan menampilkan hasil pengukuran pada display LCD.

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang akan menjadi objek penelitian atau faktor-faktor yang berperan penting dalam peristiwa atau gejala yang akan diteliti. Variabel penelitian dalam penelitian ini terdiri dari tiga variabel yaitu variabel terikat, variabel bebas, dan variabel kontrol. Variabel bebasnya adalah intensitas cahaya sedangkan variabel terikat adalah tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan dengan sensor LDR dan durasi penyinaran matahari. Untuk variabel kontrol berupa komponen elektronika yang digunakan.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya multimeter digital dan light meter. Multimeter digital digunakan untuk mengukur arus dan tegangan keluaran rangkaian sensor. Multimeter digital yang digunakan adalah multimeter merek Sanwa type RD701. Light meter digunakan sebagai alat ukur standar pengukur intensitas cahaya matahari. Light meter yang digunakan adalah lightmeter merek Lutron type LX-103.

Dalam pembuatan sistem pengukuran durasi penyinaran ini menggunakan beberapa komponen elektronika seperti sensor DR, mikrokontroler ATMEGA8535, LCD, resistor, potensiometer, kapasitor, dan beberapa komponen elektronika lainnya. Bahan-bahan selain alat ukur dan komponen elektronika, pengukuran ini juga didukung oleh bahan lainnya. Bahan-bahan lain yang digunakan dalam pembuatan instrumen ini diantaranya PCB polos, Ferri Florida sebagai pelarut PCB, kaca film, mesin bor listrik, mata bor, gergaji besi, pipa, solder, penyedot timah, dan lain-lain.

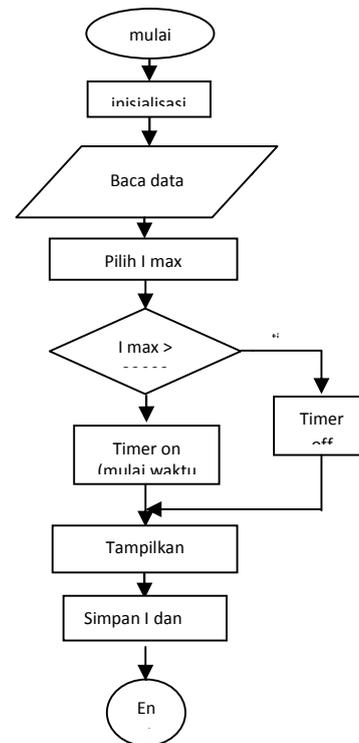
Perangkat keras yang dibutuhkan pada sistem pengukuran durasi penyinaran matahari diantaranya sensor LDR, mikrokontroler ATMEGA8535, LCD 2X16, dan beberapa komponen dasar elektronika lainnya. Adapun rancangan sistem pengukuran durasi penyinaran matahari berbasis mikrokontroler ATMEGA8535 ini secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar blok diagram berikut



Gambar 7. Blok Diagram Sistem

Dari blok diagram dapat dijelaskan bahwa sensor LDR merupakan input dari sistem. LDR mengkonversikan intensitas cahaya menjadi hambatan listrik. Rangkaian pembagi tegangan menghasilkan tegangan yang berbanding terbalik dengan nilai hambatan LDR. Sensor LDR yang digunakan pada sistem ini sebanyak delapan buah. Peneliti menggunakan delapan sensor karena input ADC pada mikrokontroler ATMEGA8535 ada delapan pin. LDR disusun membentuk setengah lingkaran. Jarak antara satu LDR dengan LDR lainnya sebesar  $20^0$ , berarti setiap LDR akan mengindera cahaya matahari dengan rentangan sudut  $\pm 10^0$ . Sinyal listrik berupa tegangan dari kedelapan rangkaian pembagi tegangan diteruskan ke mikrokontroler ATMEGA8535. Mikrokontroler mengolah sinyal dan menampilkan hasil pengolahan data pada display LCD.

Desain perangkat lunak merupakan program yang ditanamkan pada mikrokontroler. Program ini membaca input dari sensor, mengolah data, dan menampilkan pada LCD. Desain perangkat lunak pada sistem pengukuran lama penyinaran matahari dapat dilihat dari flowchart berikut:



Gambar 8. Flowchart Sistem Pengukuran Durasi Penyinaran Matahari

Sistem pengukuran dimulai dengan membaca tegangan keluaran dari sensor LDR. Mikrokontroler kemudian memilih tegangan input terbesar sebagai intensitas maksimum yang diterima LDR. Jika intensitas maksimum cahaya matahari lebih dari 32.000 lux maka mikrokontroler akan mengaktifkan timer dan menghitung waktu penyinaran. Jika intensitas cahaya kurang dari 32.000 lux maka timer akan off dan menghentikan menghitung waktu penyinaran. Nilai intensitas cahaya dan waktu penyinaran ditampilkan pada LCD 2X16.

Kemudian data durasi penyinaran matahari disimpan pada memori *eeptom* mikrokontroler.

Teknik pengukuran yang dilakukan meliputi dua cara yaitu secara langsung dan tidak langsung. Pengukuran secara langsung adalah pengukuran yang tidak bergantung pada besaran-besaran lain. Pengukuran secara tidak langsung adalah pengukuran suatu besaran yang nilainya dipengaruhi oleh besaran-besaran lain dan nilainya tidak langsung didapat. Data yang diperoleh secara langsung adalah tegangan keluaran rangkaian sensor, intensitas cahaya, dan durasi penyinaran sedangkan data yang diperoleh secara tidak langsung adalah ketepatan dan ketelitian dari sistem pengukuran durasi penyinaran matahari.

Langkah-langkah dari penelitian ini secara umum adalah merakit komponen elektronika, memprogram mikrokontroler sesuai dengan rancangan, menentukan spesifikasi performansi dan menentukan spesifikasi desain sistem. Untuk menentukan spesifikasi performansi sistem dilakukan dengan memotret komponen utama yang digunakan pada sistem, memotret sistem pengukuran, mendeskripsikan fungsi dari masing-masing komponen, kemudian menjelaskan tentang prinsip kerja sistem.

Spesifikasi desain yang ditentukan adalah tegangan keluaran yang dihasilkan rangkaian sensor, variasi intensitas cahaya, ketelitian pengukuran intensitas cahaya, ketepatan pengukuran intensitas cahaya, dan ketepatan pengukuran durasi penyinaran matahari. Pengukuran tegangan keluaran rangkaian sensor dilakukan dengan cara meletakkan instrumen di tempat yang disinari matahari, mengukur intensitas cahaya dengan alat standar (light meter), mengukur, dan mencatat tegangan keluaran rangkaian sensor LDR. Langkah-langkah yang dilakukan untuk melihat variasi intensitas cahaya adalah menetapkan dua hari untuk melakukan pengukuran intensitas cahaya, meletakkan instrumen di tempat yang disinari matahari, membaca intensitas cahaya pada LCD dan melakukan pembacaan berulang setiap 20 menit.

Langkah-langkah untuk menentukan ketepatan pengukuran intensitas cahaya adalah melakukan pengukuran terhadap intensitas cahaya matahari, membaca keluaran pada display LCD, mengukur intensitas cahaya menggunakan alat ukur standar (light meter), melakukan pengukuran untuk beberapa tingkatan intensitas cahaya, dan membandingkan hasil pengukuran dengan alat standar. Ketelitian pengukuran intensitas cahaya ditentukan dengan cara melakukan pengukuran intensitas cahaya matahari, membaca hasil pengukuran sistem, melakukan pengukuran berulang, dan menentukan ketelitian sistem. Langkah-langkah untuk menentukan ketepatan pengukuran durasi penyinaran matahari adalah melakukan pengukuran durasi penyinaran cahaya matahari untuk lima hari, membaca hasil pengukuran pada sistem, membandingkan hasil dengan alat standar menentukan kesalahan, dan ketepatan sistem.

Teknik analisis data yang dilakukan adalah secara grafik dan secara statistik, grafik berguna untuk memberikan hasil secara visual dalam melukiskan hubungan dua variabel yang diperoleh dari pengukuran atau perhitungan. Plot data

bertujuan untuk menentukan hubungan antara variabel-variabel yang diukur. Hal ini dapat dilakukan dengan memplot data pada koordinat XY menggunakan program Microsoft excel. Teknik umum yang digunakan untuk memplot data pada grafik XY yaitu variabel bebas pada sumbu X dan variabel terikat pada sumbu Y.

Analisis data hasil pengukuran merupakan proses untuk mengetahui tingkat ketepatan dan ketelitian dari suatu sistem pengukuran. Ketepatan (*accuracy*) merupakan tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran terhadap harga sebenarnya. Ketepatan dari sistem dapat ditentukan dari persentase kesalahan antara nilai aktual dengan nilai yang terlihat. Persentase kesalahan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Persentase kesalahan} = \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana;  $Y_n$  = Nilai sebenarnya dan  $X_n$  = Nilai yang terbaca pada alat ukur. Ketepatan pengukuran suatu sistem pengukuran ditentukan melalui persamaan :

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \quad (3)$$

Persamaan 3 merupakan akurasi relatif yang sering dikenal dengan ketepatan. Hasil pengukuran dinyatakan dalam  $X \pm \Delta X$  kemudian dapat ditentukan nilai rata-rata, standar deviasi, kesalahan mutlak, dan relatif serta pelaporan hasil pengukuran. Nilai rata-rata pengukuran dinyatakan dengan persamaan:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n X_n \quad (4)$$

dimana  $X_n$  adalah nilai dari data ke-n dan n adalah jumlah total pengukuran.

Untuk mengukur standar deviasi ( $\Delta X$ ) dapat digunakan persamaan:

$$\Delta X = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n-1}} \quad (5)$$

Dari hasil pengukuran dapat dilihat seberapa besar kesalahan relatif pengukuran pada alat dengan menggunakan persamaan:

$$KR = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\% \quad (6)$$

Ketelitian dapat diekspresikan dalam bentuk matematika sebagai berikut:

$$\text{Precision} = 1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \quad (7)$$

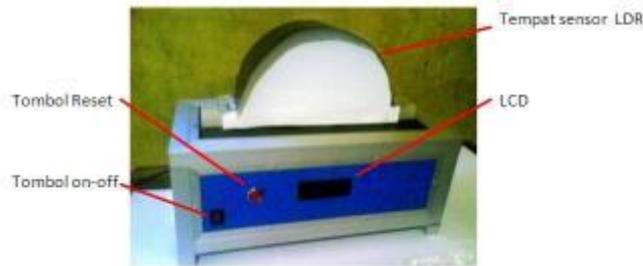
dimana;  $X_n$  = nilai dari pengukuran ke-n dan  $\bar{X}_n$  = rata-rata dari set n pengukuran.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang diperoleh berupa instrument pengukuran durasi penyinaran matahari. Instrument ini dapat mengukur intensitas cahaya matahari antara 0 lux hingga

50.000 lux. Instrument mengukur durasi penyinaran matahari dalam satuan jam, menit, dan detik. Hasil pengukuran intensitas dan durasi penyinaran ditampilkan pada LCD. Secara rinci, hasil penelitian dapat diuraikan pada spesifikasi performansi dan spesifikasi desain sistem pengukuran durasi penyinaran matahari berbasis ATMEGA8535 menggunakan sensor LDR.

Spesifikasi performansi sistem merupakan pengidentifikasian atau penguraian fungsi setiap bagian pembentuk sistem pengukuran durasi penyinaran matahari. Adapun bentuk sistem pengukuran durasi penyinaran dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Foto Alat Pengukuran Durasi Penyinaran

Sistem pengukuran durasi penyinaran matahari dirancang terdiri dari dua bagian. Bagian atas merupakan tempat sensor LDR berbentuk setengah lingkaran dengan jari-jari 10 cm. Sistem pengukuran durasi penyinaran menggunakan 8 sensor LDR yang disusun setengah lingkaran. Sensor LDR diberi filter kaca film 60% karena cahaya matahari langsung terlalu kuat dan panas. Pemberian filter bertujuan agar tegangan keluaran yang dihasilkan lebih baik dan sensor tidak cepat panas. Bagian bawah berbentuk kotak dengan ukuran 40x18x30 cm berisi rangkaian elektronika, input, dan output sistem.

Sistem pengukuran durasi penyinaran dilengkapi oleh input dan output. Input sistem terdiri dari sebuah tombol yang berfungsi sebagai tombol reset. Posisi input dan output dapat dilihat pada gambar 11. Pada gambar terlihat input sistem terdiri dari sebuah tombol reset. Tombol reset terletak diantara LCD dan saklar on-off. Tombol reset digunakan untuk mengembalikan hasil pembacaan durasi penyinaran menjadi nol. Saat tombol reset dilepas, sistem langsung memulai pengukuran durasi (tanpa tombol start). Output sistem berupa LCD yang menampilkan intensitas cahaya dan durasi penyinaran. Adapun bentuk tampilan LCD dapat dilihat pada Gambar 10



Gambar 10. Tampilan LCD

Pada Gambar 10 terlihat tampilan LCD terdiri dari dua baris. Baris atas menampilkan Intensitas cahaya matahari. Intensitas cahaya matahari yang ditampilkan merupakan intensitas cahaya matahari maksimum yang diterima sensor

LDR. Intensitas cahaya ditampilkan dalam satuan lux. Baris bawah menampilkan durasi penyinaran. Durasi penyinaran ditampilkan dalam satuan jam, menit, dan detik.

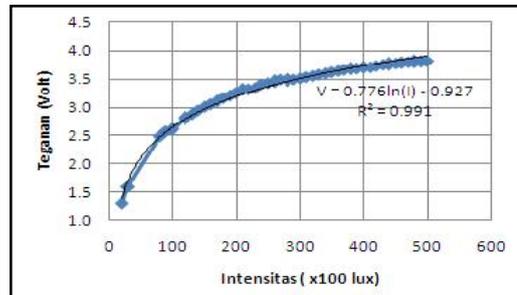
Rangkaian elektronika pembentuk sistem yang dirancang sedemikian rupa, terdiri atas beberapa bagian yaitu rangkaian catu daya, rangkaian pembagi tegangan, dan sistem minimum mikrokontroler ATMEGA8535 seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Foto Rangkaian Elektronika Sistem

Rangkaian catu daya berfungsi untuk mensuplay arus dan tegangan ke seluruh sistem rangkaian. Rangkaian catu daya ini menghasilkan tegangan keluaran sebesar 5 Volt. Rangkaian pembagi tegangan berfungsi untuk mengkonversikan keluaran sensor yang berupa hambatan menjadi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan terdiri dari delapan hambatan untuk membagi tegangan dari delapan sensor LDR. Mikrokontroler ATMEGA8535 berfungsi untuk melakukan proses deteksi data masukan, mengolah data, dan mengatur keluaran yang ditampilkan pada LCD.

Spesifikasi desain meliputi pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap tegangan keluaran, ketepatan dan ketelitian pengukuran intensitas cahaya dan durasi penyinaran matahari. Pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap tegangan keluaran dapat dilihat di grafik pada Gambar 12.



Gambar 12. Hubungan Tegangan Keluaran Dengan Intensitas Cahaya

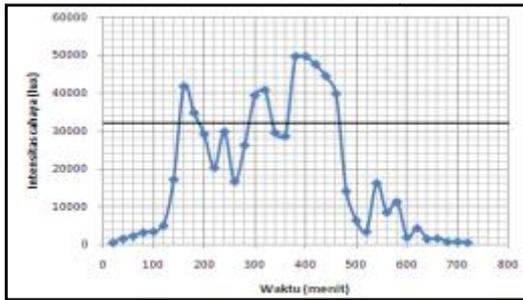
Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa tegangan keluaran bertambah seiring dengan peningkatan intensitas cahaya. Melalui pendekatan logaritmik diperoleh persamaan tegangan keluaran sensor yaitu:

$$V = 0.776 \ln(I) - 0.927 \quad (8)$$

Nilai 0.776 merupakan konstanta yang menunjukkan hubungan logaritmik antara intensitas cahaya matahari dengan tegangan keluaran. Nilai sebesar 0.927 menunjukan tegangan keluaran yang dihasilkan saat intensitasnya nol. Koefisien korelasi dari grafik adalah 0.991. Dengan nilai korelasi mendekati 1 berarti hasil pengukuran tidak menyimpang jauh dari pendekatan grafik.

Variasi intensitas cahaya matahari dapat diselidiki dengan cara mengukur intensitas cahaya matahari dalam selang waktu tertentu. Pengukuran intensitas cahaya matahari dilakukan setiap 20 menit dari jam enam pagi hingga jam enam sore selama 2 hari. Dari hasil pengukuran dapat diketahui durasi penyinaran matahari.

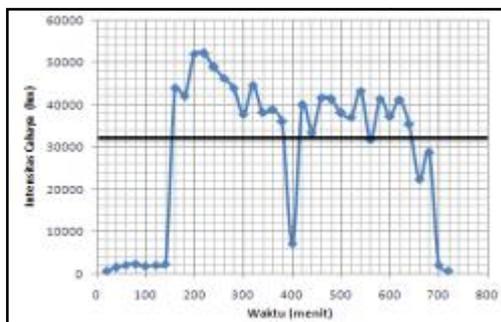
Pengukuran intensitas cahaya matahari hari pertama dilakukan pada hari Sabtu tanggal 9 Februari 2013. Data yang diperoleh diplot dalam bentuk grafik dengan menempatkan waktu pada sumbu X dan intensitas cahaya pada sumbu Y sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Variasi Intensitas Cahaya Matahari Hari Pertama

Pada Gambar 13 dapat dijelaskan bahwa intensitas cahaya matahari naik perlahan hingga menit ke-120. Intensitas cahaya meningkat drastis pada menit ke-120 hingga mencapai 41.678 lux pada menit ke 160. Kemudian intensitas cahaya turun dan naik tergantung pada kondisi awan di atmosfer. Intensitas cahaya matahari tertinggi adalah 49.505 lux. Setelah menit ke-620 intensitas cahaya matahari turun secara perlahan. Pada grafik juga dapat dilihat bahwa terdapat tiga selang waktu saat intensitas cahaya matahari di atas 32.000 lux. Durasi penyinaran dihitung dengan cara menjumlahkan ketiga selang waktu tersebut, sehingga durasi penyinaran yang dihitung pada hari pertama adalah selama 184 menit.

Pengukuran intensitas cahaya matahari hari kedua dilakukan pada hari Senin tanggal 11 Februari 2013. Data yang diperoleh diplot dalam bentuk grafik dengan menempatkan waktu pada sumbu X dan intensitas cahaya pada sumbu Y sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Variasi Intensitas Cahaya Matahari Hari Kedua

Pada Gambar 14 dapat dijelaskan bahwa intensitas cahaya matahari mulai naik perlahan menit ke-140. Intensitas cahaya matahari kemudian naik drastis setelah menit ke-140 hingga nilai maksimum yang terukur sebesar 52.196 lux. Intensitas cahaya matahari naik dan turun bergantung kepada kondisi awan. Setelah menit ke-680 intensitas cahaya matahari turun drastis. Pada grafik terdapat tiga selang waktu saat intensitas cahaya matahari di atas 32.000 lux. Dengan menjumlahkan ketiga selang waktu tersebut didapatkan durasi penyinaran yang dihitung pada hari kedua adalah 440 menit.

Ketepatan pengukuran intensitas cahaya matahari berkisar antara 87.67% hingga 100% dengan nilai persentase rata-rata 97.145%. Persentase kesalahan pengukuran intensitas berkisar antara 0% hingga 12.33% dengan nilai rata-rata 2.855%. Ketelitian pengukuran intensitas memiliki nilai rata-rata 0.965 dengan standar deviasi 712.3 lux. Ketepatan pengukuran durasi penyinaran ditentukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran sistem dengan alat standar. Alat standar yang digunakan adalah *Campbell Stokes* pada BMKG wilayah Bandara Internasional Minangkabau. Pengukuran dilakukan selama lima hari dari tanggal 7 Desember 2012 hingga 11 Desember 2012. Data hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Pengukuran Durasi Penyinaran Matahari

No	Tanggal	A (menit)	B (menit)	$\Delta x = [A-B]$	Persen kesalahan	Persen Ketepatan
1	7 Des 2012	255.90	270	14.10	5.22%	94.78%
2	8 Des 2012	111.60	120	8.40	7.00%	93.00%
3	9 Des 2012	368.75	390	21.25	5.45%	94.55%
4	10 Des 2012	216.40	240	23.60	9.83%	90.17%
5	11 Des 2012	201.00	210	9.00	4.29%	95.71%
Rata-rata					6.36%	93.64%

Dari tabel dapat dilihat bahwa kesalahan sistem berkisar antara 4.29% hingga 9.83% dengan kesalahan rata-rata 6.63%. Persentase ketepatan sistem berkisar antara 90.17% hingga 95.71% dengan nilai ketepatan rata-rata 93.64%. Ketelitian pengukuran durasi penyinaran matahari tidak dapat dilakukan karena tidak mungkin melakukan pengukuran berulang pada durasi penyinaran matahari.

Sistem pengukuran durasi penyinaran matahari ini masih memiliki beberapa kelemahan. Kelemahan pertama terdapat pada sensor yang digunakan. Kedua, sistem tidak dapat menyesuaikan posisi sensor dengan gerak semu tahunan matahari. Ketiga, terdapat pada tampilan yang masih menggunakan LCD.

Sistem menggunakan delapan buah sensor LDR yang mengindera cahaya matahari dengan sudut  $\pm 10^0$ , sehingga pada beberapa posisi matahari terdapat penyimpangan. Solusi untuk kekurangan ini adalah dengan menggunakan lebih banyak sensor. Namun peneliti hanya menggunakan delapan sensor karena keterbatasan input pada mikrokontroler ATMEGA8535.

Kedua, sensor tidak dapat menyesuaikan posisinya dengan gerak semu tahunan matahari. Posisi tidak selalu berada tepat diarah timur ke barat, pada bulan-bulan tertentu

posisi matahari agak bergeser ke utara atau selatan. Kelemahan ini dapat diatasi dengan menambah sistem mekanik pada tempat sensor. Sistem mekanik tambahan dapat memiringkan tempat kedudukan sensor dan menyesuaikan posisinya gerak semu tahunan matahari. Kelemahan ini juga dapat diatasi dengan cara mengatur posisi sensor hingga membentuk setengah bola.

Ketiga, hasil tampilan masih dalam bentuk LCD. LCD hanya mampu menampilkan dua baris data. Diharapkan sistem dapat dihubungkan dengan personal komputer (PC). Dengan menghubungkan ke PC, hasil pengukuran ditampilkan pada monitor sehingga lebih baik dari segi tampilan maupun penyimpanan data.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan, dapat dikemukakan beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Spesifikasi performansi sistem pengukuran durasi penyinaran matahari adalah sistem ini terdiri dari LDR, mikrokontroler, LCD, dan catu daya. LDR berfungsi sebagai sensor yang mengindera cahaya matahari. Mikrokontroler ATMEGA8535 menerima masukan dari sensor, mengolah sinyal, dan mengatur tampilan LCD. LCD berfungsi untuk menampilkan hasil pengukuran. Catu daya berfungsi untuk menyediakan daya bagi semua blok rangkaian yang membutuhkan catu daya.
2. Spesifikasi desain dari sistem pengukuran durasi penyinaran matahari adalah
  - a. Tegangan keluaran rangkaian sensor LDR merupakan logaritma dari intensitas cahaya.
  - b. Hasil pengukuran variasi intensitas cahaya matahari pada hari pertama terdapat tiga selang waktu durasi penyinaran dengan durasi penyinaran total 184 menit, sedangkan pada hari kedua pengukuran intensitas cahaya matahari juga terdapat tiga selang waktu durasi penyinaran dengan durasi penyinaran total 440 menit.
  - c. Ketepatan pengukuran intensitas cahaya yaitu 97.145%.
  - d. Ketelitian pengukuran intensitas cahaya yaitu 0.965.
  - e. Ketepatan sistem untuk mengukur durasi penyinaran matahari adalah 93.64%.

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat dikemukakan saran sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan sensor yang lebih banyak dan disusun membentuk setengah lingkaran untuk menyesuaikan posisi terhadap gerak semu tahunan matahari
2. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan sistem on/off secara otomatis menggunakan baterai atau timer.

3. Penelitian juga dapat dilanjutkan dengan menghubungkan sistem dengan PC
4. Sistem ini bisa digunakan di laboratorium elektronika dan instrumentasi fisika sebagai peralatan praktikum ataupun untuk penelitian selanjutnya
5. Diharapkan sistem pengukuran durasi penyinaran matahari ini dapat diaplikasikan sebagai salah satu alat observasi cuaca di BMKG.

### DAFTAR RUJUKAN

- [1] Asrizal. (2011). *Petunjuk Praktikum Elektronika Dasar I*. Padang: UNP
- [2] Budi Purwanto. (2010). *LCD (Liquid crystal display)*. <http://digilib.itelkom.ac.id>. Diakses 4 Oktober 2011
- [3] Dandan Hendayana. (2011). *Mengenal Nama dan Fungsi Alat-alat Pemantau Cuaca dan Iklim*. <http://dhkangmas.files.wordpress.com>. diakses 24 September 2011
- [4] Datasheet. (2006). *8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash*. [www.atmel.com/](http://www.atmel.com/)
- [5] Fraden, Jacob. (1996). *The Hand Book of Modern Sensor*. California: Thermoscan, Inc
- [6] Gunawan Nawawi. (2001). *Pengantar Klimatologi Pertanian*. Jakarta: Departemen Pendidikan nasional
- [7] Handoko. (1993). *Klimatologi Dasar*. Bogor: Pustaka Jaya
- [8] Hiscocks, Peter. (2011). *Measuring Light*. Ryerson University
- [9] M Anshar Amran. (2012). *Defenisi dan Jenis-Jenis Penelitian*. <http://www.geodesy.gd.itb.ac.id>. Diakses 1 maret 2013
- [10] Nicholson, Sue. (2001). *Cuaca*. Jakarta: Erlangga
- [11] Suryatna Rafi'i. (1995). *Meteorologi dan Klimatologi*. Angkasa: Bandung
- [12] Sutrisno. (1986). *Elektronika Teori dan Penerapannya*. ITB: Bandung
- [13] Triwiyanto. (2009). *Petunjuk Praktikum Microcontroller AT89sXXX Trainer Kit (Edisi V2.0-Update)*. Poltekkes Depkes Surabaya; Surabaya.
- [14] Widodo Budiharto (2009). *Membuat Sendiri Robot Cerdas*. Elex Media Koputindo: Jakarta.