

Sistem Pengukuran Intensitas dan Durasi Penyinaran Matahari *Realtime* PC berbasis LDR dan Motor Stepper

¹Mona Berlian Sari, ²Yulkifli, ³Zulhendri Kamus

^{1,2,3} Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

¹na.liansha@gmail.com

²yulkifliamir@gmail.com

³zulhendrikamus75@gmail.com

Abstrak

Penyinaran matahari sebagai sumber energi yang penting bagi kehidupan merupakan salah satu parameter cuaca yang penting untuk diukur. Penelitian ini mendesain dan membuat sistem pengukuran intensitas dan durasi penyinaran matahari menggunakan mikrokontroler ATMEGA328 Arduino Uno dan satu buah sensor LDR yang pergerakannya diatur menggunakan motor stepper. Tampilan sistem menggunakan LCD dan PC. Data yang diukur disimpan secara otomatis dalam format *xls. Sistem memiliki ketelitian rata-rata pengukuran intensitas cahaya matahari sebesar 0.9993 dengan persentase ketepatan rata-rata ialah 98,79%. Pada pengukuran durasi penyinaran matahari, sistem memiliki ketepatan rata-rata pengukuran sebesar 93,876%.

Keywords: penyinaran matahari, durasi, intensitas, sistem pengukuran, motor stepper

1 Pendahuluan

Cuaca merupakan keadaan atmosfer suatu daerah yang relatif sempit dalam waktu yang singkat. Menurut Bayong [1] "Cuaca adalah variasi atmosfer periode pendek atau keadaan atmosfer pada suatu saat tertentu pada wilayah tertentu". Adapun unsur-unsur atau parameter cuaca diantaranya suhu udara, tekanan udara, angin, kelembaban udara, awan, hujan, dan penyinaran matahari.

Penyinaran matahari mempengaruhi naik turunnya temperatur permukaan bumi serta mempengaruhi unsur-unsur cuaca lainnya. Selain sebagai pengendali iklim dan cuaca, matahari adalah sumber energi yang penting bagi kehidupan. Potensi energi matahari dapat dimanfaatkan bagi lingkungan hidup manusia baik dalam bidang pertanian, perkebunan, perikanan, pengembangan industri solar sel sebagai energi alternatif dan lain sebagainya.

Jumlah radiasi matahari yang diterima bumi bergantung pada keadaan atmosfer, jarak bumi dari matahari, intensitas dari radiasi matahari dan lamanya penyinaran matahari. Menurut Ance [2] "Intensitas radiasi matahari merupakan absorpsi energi matahari dalam satuan cm^2/menit ". Pengukuran intensitas penyinaran matahari biasanya menggunakan lightmeter.

Penyinaran matahari akan tergantung pada durasi atau lamanya penyinaran matahari. Arturo dkk [3] menyatakan bahwa "Durasi penyinaran matahari didefinisikan sebagai jumlah waktu (biasanya dalam satuan jam) radiasi matahari langsung melebihi batas ambang yaitu 120 W/m^2 ". Sedangkan menurut Peter [4] "Intensitas penyinaran matahari saat penyinaran langsung dalam satuan lux ialah 32.000 sampai 130.000 lux". Pengukuran durasi penyinaran matahari pada umumnya menggunakan *Campbell Stokes (Stokes Sphere)* yaitu alat perekam penyinaran matahari berupa bola kaca yang dirancang untuk memfokuskan sinar matahari ke kertas pias yang dipasang di belakang bola kaca

tersebut. Viorel [5] menjelaskan bahwa “Jumlah titik bakar dalam satuan jam memberikan gambaran nilai durasi penyinaran harian pada saat matahari bersinar cerah”.

Kelemahan *Campbell Stokes* diantaranya adalah kertas pias pencatat nilai durasi harus diganti setiap hari, resolusi data durasi penyinaran matahari dalam satuan jam, hasil pengukuran masih dalam bentuk analog dan harus diolah secara manual, serta data pengukuran yang didapatkan hanya durasi penyinaran, sedangkan intensitas cahaya matahari tidak terukur.

Ridho dkk [6] melakukan penelitian untuk menghasilkan instrumen yang dapat mengindera dan mengukur penyinaran matahari dengan lebih intensif dengan cara mengkombinasikan rangkaian elektronika dengan menggunakan sensor cahaya LDR (*Light Dependent Resistor*). Namun, penelitian ini masih memiliki beberapa kelemahan. Jumlah sensor yang digunakan hanya 8 buah yang disusun dalam rentangan jarak 20° sehingga pada beberapa posisi matahari terdapat penyimpangan. Tampilan data masih menggunakan LCD sehingga data yang ditampilkan hanya intensitas pada waktu tertentu dan belum menampilkan data dalam bentuk grafik. Kemudian, data hasil pengukuran tersimpan pada EEPROM Mikrokontroler ATMEGA8535 yang memiliki kapasitas memori 8 Kbyte dan belum ada komunikasi serial untuk memperoleh data di EEPROM tersebut.

Penelitian lanjutan diperlukan agar data hasil pengukuran dapat ditampilkan di PC secara *realtime* dan disimpan pada perangkat penyimpan PC yang memiliki kapasitas memori yang besar. Keunggulan dari penelitian ini adalah tampilan data terintegrasi dengan *personal computer* (PC) dengan memanfaatkan *software* Borland Delphi 7 sehingga data dapat ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik yang menunjukkan hubungan antara intensitas dan waktu pengukuran. Selain itu pergerakan sensor cahaya yang dikontrol menggunakan motor stepper unipolar dengan resolusi $1,8^\circ$ per step sehingga dapat menyesuaikan posisi sensor dengan posisi matahari dalam pergerakan semu harian matahari.

Penelitian ini memanfaatkan satu buah sensor LDR sebagai pengindera cahaya yang bergerak mengikuti pergerakan semu harian matahari. Yulkifli [7] mendefinisikan bahwa “Sensor adalah sebuah piranti elektronika yang menerima stimulus fisis dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Dengan menggunakan sebuah sensor dapat dirancang berbagai sistem yang dapat bekerja secara otomatis”. Sedangkan menurut Zulhendri [8] “*Light Dependent Resistor* (LDR) atau fotoresistor adalah sensor yang merespon stimulus berupa perubahan intensitas cahaya dan mengubahnya menjadi nilai tahanan yang besarnya tergantung pada intensitas cahaya yang mengenyainya”.

Pergerakan sensor cahaya ini dikontrol menggunakan motor stepper unipolar yang bergerak sebesar $1,8^\circ$ per step. Cara kerja motor stepper ialah ketika sebuah koil dari motor stepper diberikan energi maka poros motor stepper (yang sebenarnya adalah sebuah magnet permanen) akan menyesuaikan diri sesuai dengan kutub-kutub kumparan magnet. Jadi, ketika kumparan motor terpacu dalam urutan tertentu maka poros motor cenderung untuk menyesuaikan diri sesuai dengan kutub kumparan dan karenanya berputar. Ramon [9] menyatakan bahwa “Gerakan motor stepper sesuai dengan pulsa-pulsa digital yang diberikan”. Gerakan rotor motor dapat dikontrol dengan memberikan pulsa-pulsa yang dihasilkan dari sistem digital seperti mikrokontroler.

Menurut Gilmore [10] “Mikrokontroler merupakan sebuah sistem mikroprosesor yang dibangun pada satu *chip*”. Dalam perkembangannya, terdapat berbagai jenis mikrokontroler dengan keunggulan spesifikasinya masing-masing. Salah satu diantaranya ialah mikrokontroler ATMEGA328 yang terintegrasi pada kit Arduino Uno. Abdul [11] menyebutkan bahwa “Arduino Uno adalah salah satu produk berlabel Arduino yang

sebenarnya merupakan suatu papan elektronik yang mengandung mikrokontroller ATMEGA328 sebagai sebuah keping fungsional”. Berikut konfigurasi pin mikrokontroller ATMEGA328:

(PCINT14/RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	7	22	GND
GND	8	21	AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)

Gambar 1. Konfigurasi pin ATMEGA328

Mikrokontroller ATMEGA328 memiliki arsitektur *Harvard*, Menurut Eko [12] arsitektur *Harvard* pada mikrokontroller ATMEGA328 yaitu “Pemisahan antara memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga maksimal dalam melaksanakan fungsinya”. Instruksi-instruksi pada memori program dijalankan dalam satu alur tunggal, dimana pada saat satu instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program akibatnya instruksi-instruksi tersebut dapat dijalankan dalam satu siklus *clock*.



Gambar 2. Kit Arduino Uno

Mikrokontroller ATMEGA328 merupakan komponen utama dari kit Arduino Uno. Raka [13] menyebutkan bahwa “Mikrokontroler Arduino adalah sebuah *platform* yang bersifat *open source*”. Arduino memiliki 14 pin input/output dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, *crystal* osilator 16 MHz, koneksi USB, *jack* power, kepala ICSP, dan tombol reset.

Helmi [14] menjelaskan kelebihan Arduino ialah “Pada Arduino sudah ada *bootloader* yang akan menangani *upload* program dari sistem komputer sehingga tidak perlu perangkat *chip programmer*, sudah memiliki sarana komunikasi USB sehingga untuk menghubungkannya dengan PC tidak perlu lagi *port serial*/RS323, dilengkapi dengan *library* yang cukup lengkap sehingga memudahkan dalam pemrograman, dan memiliki modul siap pakai (*shield*) seperti *shield* GPS, *Ethernet*, SD Card, dan lain-lain yang siap di pasang pada *board* Arduino”.

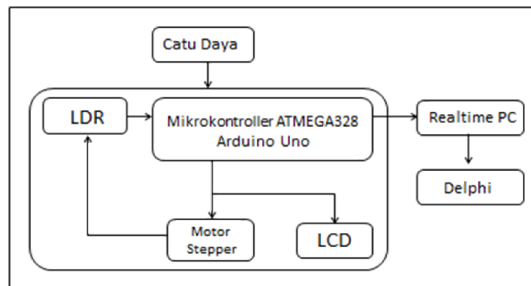
Berdasarkan uraian tersebut, dengan itu diajukan sebuah penelitian dengan judul “Pembuatan Sistem Pengukuran Intensitas dan Durasi Penyinaran Matahari menggunakan Sensor LDR Bergerak Menggunakan Motor Stepper dengan Tampilan *Realtime PC*”.

2 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang. Kalibrasi alat dilakukan di Stasiun Meteorologi Kelas II Minangkabau Padang. Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2013 sampai Juli 2014.

2.1 Desain Perangkat Keras

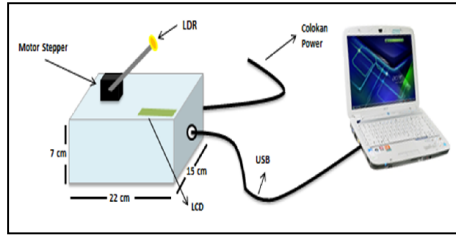
Desain perangkat keras yang dibuat tersusun dari sebuah kotak yang didalamnya ditempatkan komponen-komponen elektronika yang sudah dirakit di PCB. Adapun blok diagram sistem pengukuran intensitas dan durasi penyinaran matahari yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram sistem

Dari Gambar 3 dapat dijelaskan setelah sensor mendeteksi penyinaran matahari, sinyal sensor diolah di mikrokontroler ATMEGA328. Pergerakan sensor disesuaikan dengan pergerakan motor stepper unipolar yang dikendalikan melalui mikrokontroler ATMEGA328 dan Borland Delphi 7. Data hasil pengukuran ditampilkan di LCD dan PC. Software mikrokontroler yang digunakan ialah IDE. Rangkaian-rangkaian elektronika ini di letakkan dalam sebuah kotak.

Pada bagian luar kotak ditempatkan tampilan LCD dan motor stepper yang terintegrasi dengan sensor LDR. Sensor yang digunakan hanya satu buah yang diputar setengah lingkaran (180° atau dari pukul 6 pagi sampai pukul 6 sore). Posisi sensor dikendalikan oleh pergerakan motor stepper. Motor stepper yang digunakan ialah tipe unipolar dengan resolusi $1,8^\circ$ per step artinya setiap step akan menggerakkan rotor sebesar $1,8^\circ$. Motor stepper diletakkan diatas kotak sebagai sistem mekanik untuk memutar sensor agar posisi sensor sesuai dengan gerak semu harian matahari. Berikut desain perangkat keras yang dibuat:

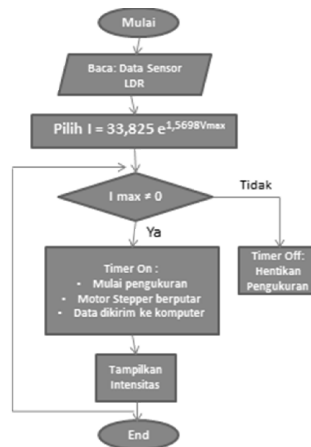


Gambar 4. Desain perangkat keras

2.2 Desain Perangkat Lunak

Perangkat lunak merupakan program yang digunakan untuk mengendalikan input dan output sistem yang dibuat. Perangkat lunak yang digunakan dalam pembuatan sistem pengukuran intensitas dan durasi penyinaran matahari dengan tampilan PC ini menggunakan dua bagian perangkat lunak, yaitu perangkat lunak mikrokontroler Atmega328 berbasis Arduino Uno dan perangkat lunak tampilan PC berbasis Borland Delphi 7.

Perangkat lunak mikrokontroler merupakan program yang ditanamkan pada *chip* mikrokontroler ATMEGA328 yang terkonfigurasi pada kit Arduino Uno untuk membaca, memproses dan mengolah data untuk selanjutnya ditampilkan LCD dan dikoneksikan dengan PC. Berikut desain *flowchart* perangkat lunak yang dibuat:

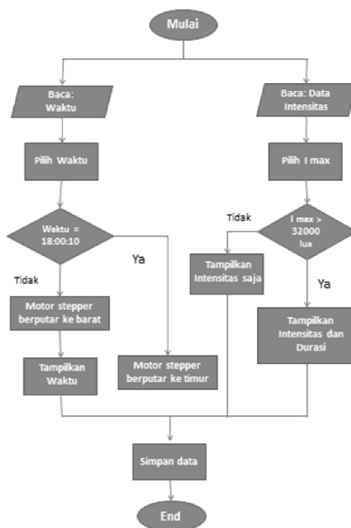


Gambar 5. Flowchart program mikrokontroler

Dari *flowchart* tersebut dapat dilihat cara kerja sistem perangkat lunak yang dibuat yaitu ketika sensor menerima sinyal analog yang ditandai dengan perubahan resistansi sensor LDR, nilai resistansi dikonversi menjadi tegangan melalui rangkaian pembagi tegangan yang menjadi input mikrokontroler. Tegangan analog ini dikonversi ke digital melalui ADC 10 bit. Selanjutnya tegangan digital dikonversi ke dalam besaran intensitas melalui persamaan hubungan intensitas dan tegangan maksimum sensor. Jika intensitas cahaya yang terukur tidak sama dengan 0 maka pengukuran dilanjutkan dengan ditampilkannya data intensitas pada LCD dan data dikirim ke komputer. Namun jika intensitas cahaya

sama dengan 0 atau tidak ada cahaya yang dideteksi sensor maka pengukuran tidak dilakukan.

Untuk membuat desain tampilan data intensitas dan durasi, mengendalikan pergerakan motor stepper dan menyimpan data ke Microsoft Excell digunakan software Borland Delphi 7. *Flowchart* program tampilan PC menggunakan software Borland Delphi 7 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Flowchart program tampilan PC

Berdasarkan Gambar 6, program PC dibuat saat data sensor diterima dari sistem mikrokontroler. PC membaca data intensitas yang telah diolah oleh sistem mikrokontroler Atmega328 dan membaca waktu dari sistem komputer. Jika intensitas cahaya maksimum yang terbaca kurang dari 32000 lux, data ditampilkan pada tabel intensitas sehingga dapat diketahui besarnya intensitas pada waktu tertentu. Jika intensitas lebih besar dari 32000 lux, pengukuran durasi mulai dilakukan dan data durasi ditampilkan dalam satuan jam. Setiap data intensitas yang ditampilkan disertai waktu pengukuran. Data intensitas ini diukur setiap 2 detik mulai pukul 6 pagi sampai 6 sore. Data ditampilkan dalam tabel dan grafik. Ketika data mulai diinput dari mikrokontroler, sistem PC membaca data dan motor stepper mulai berputar setiap 432 detik satu step. Pada pukul 18:00:10 WIB, motor stepper diset agar berputar kembali keposisi semula. Setiap data pengukuran selain ditampilkan di tampilan PC berbasis Borland Delphi 7, data disimpan secara otomatis di Microsoft Excel.

Ketepatan dari sistem dapat ditentukan dari persentase kesalahan antara nilai sebenarnya dengan nilai yang terukur pada alat. Persentase kesalahan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Persentase kesalahan} = \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana Y_n = Nilai sebenarnya dan X_n = Nilai yang terbaca pada alat ukur. Ketepatan pengukuran dapat ditentukan melalui persamaan:

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \quad (2)$$

Nilai rata-rata pengukuran dinyatakan dengan:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n X_n \quad (3)$$

Dimana X_n adalah nilai dari data ke- n dan n adalah jumlah total pengukuran. Untuk mengukur standar deviasi (ΔX) dapat digunakan persamaan:

$$\Delta X = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n-1}} \quad (4)$$

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

$$KR = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\% \quad (5)$$

Ketelitian dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

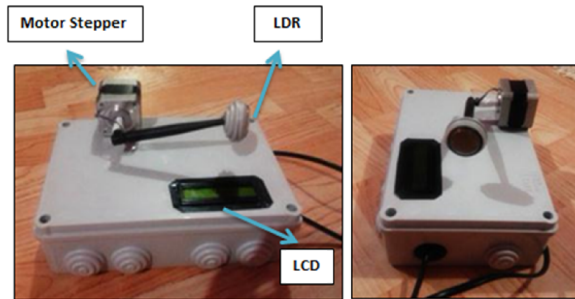
$$\text{Precision} = 1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \quad (6)$$

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

3 Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1 Spesifikasi Performansi Sistem

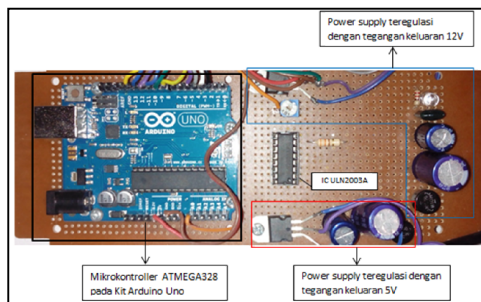
Sistem pengukuran terdiri dari seperangkat kotak yang didalamnya terdapat rangkaian elektronika, input, dan output sistem. Kotak terbuat dari material berbahan dasar plastik dengan ukuran 22 cm x 15 cm x 7 cm. Di bagian atas kotak terdapat motor stepper unipolar 1,8° per step sebagai sistem mekanik pemutar sensor LDR. Motor stepper ini akan bergerak setiap 432 detik atau 7,2 menit per step. Sehingga dalam 12 jam motor stepper ini akan bergerak sebesar 180°. Motor stepper ini juga diset akan berputar kembali ke posisi semula pada pukul 18:00:10 WIB. Berikut bentuk fisik sistem pengukuran intensitas dan durasi penyinaran matahari yang dibuat:



Gambar 7. Foto sistem pengukuran

Sensor LDR terhubung dengan motor stepper melalui sebuah tangkai yang dikaitkan dengan motor stepper ini. Sensor LDR yang digunakan hanya satu buah dan tahan air. Sensor ini akan berputar mengikuti pergerakan semu harian matahari dari jam 6 pagi sampai 6 sore (180°).

Pada bagian dalam kotak ditempatkan rangkaian elektronika pembentuk sistem (lihat Gambar.8). Rangkaian sistem terdiri dari beberapa blok rangkaian, yaitu rangkaian pengolah sinyal sensor, rangkaian driver motor stepper, rangkaian catu daya, dan rangkaian mikrokontroler. Sistem dikoneksikan ke PC melalui USB yang terhubung dengan Kit Arduino Uno.



Gambar 8. Rangkaian sistem

Rangkaian pengolah sinyal ialah rangkaian pembagi tegangan dengan catu daya 5 volt, sensor LDR, dan resistor 330 Ω. Ketika sensor mendeteksi cahaya, resistansi sensor LDR berubah berdasarkan jumlah cahaya yang jatuh padanya. Untuk dapat diproses di sistem mikrokontroler, sinyal analog berupa nilai resistansi ini diubah ke tegangan melalui rangkaian pembagi tegangan. Jika resistansi LDR berubah, maka tegangan keluaran juga akan berubah.

Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan motor stepper diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik. Rangkaian *driver* motor stepper dibangun menggunakan IC ULN2003A.

IC ULN2003A adalah salah satu jenis *driver* motor stepper yang sering digunakan. IC ULN2003A memiliki 7-bit input, tegangan maksimum 50 Volt dan arus 500 mA. IC ini termasuk jenis IC TTL yang didalamnya terdapat transistor darlington, yaitu dua buah

transistor yang dirangkai dengan konfigurasi khusus untuk mendapatkan penguatan ganda sehingga menghasilkan penguatan arus yang besar. IC ULN2003A mempunyai 16 buah pin yang berfungsi sebagai pin input, pin output dan pin catu daya.

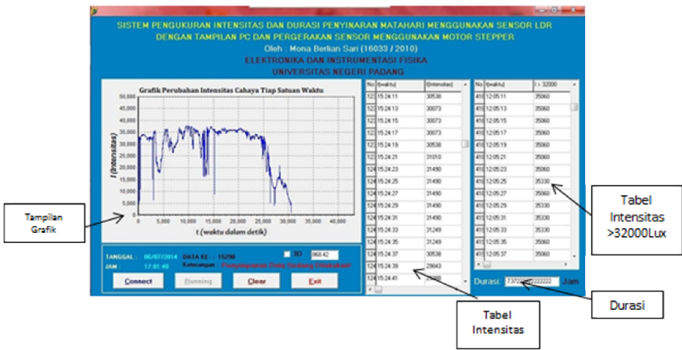
Rangkaian catu daya menggunakan dua IC regulator masing-masing untuk menghasilkan tegangan keluaran 12 V sebagai power motor stepper dan tegangan keluaran 5 volt sebagai masukan mikrokontroler jika sistem tidak dihubungkan ke PC. Rangkaian mikrokontroler menggunakan kit Arduino Uno berbasis Atmega328 sebagai sistem mikrokontroler yang mengendalikan kerja sistem. Mikrokontroler Atmega328 berbasis Arduino Uno dihubungkan dengan output dan input sistem untuk mengendalikan, memproses, dan memberikan informasi data dari sinyal yang diterima.

Mikrokontroler Atmega328 mendapatkan input tegangan 5 Volt dari catu daya. Jika catu daya mati, sistem masih bisa dijalankan karena mendapat supply tegangan dari PC. Mikrokontroler dihubungkan dengan LCD melalui pin 2,3,4,5,12, dan 13. Selain itu, mikrokontroler mengendalikan pergerakan motor stepper dengan koneksi ke driver motor stepper melalui pin 8,9,10, dan 11. Input dari sensor diperoleh dengan menghubungkan sensor dengan pin 23. Pada bagian atas kotak ditempatkan juga tampilan LCD agar sistem tetap bisa membaca data hasil pengukuran meskipun tidak terkoneksi ke PC. Berikut tampilan LCD pada Gambar 9.



Gambar 9. Tampilan LCD

Untuk mengetahui besarnya durasi dan data pengukuran secara lengkap digunakan tampilan PC berbasis Borland Delphi 7 yang terkoneksi dengan sistem. Tampilan PC dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Tampilan PC

PC menampilkan data sistem pengukuran berupa data durasi, data intensitas setiap 2 detik dan waktu pengukurannya serta grafik perubahan intensitas terhadap waktu selama satu hari pengukuran. Setiap data hasil pengukuran akan tersimpan secara otomatis di Microsoft Excell ketika pengukuran dihentikan. Penyimpanan data seperti ini memanfaatkan fasilitas OLE (*Object Linking and Embedding*) yang tersedia pada Borland Delphi 7. Keuntungannya data hasil pengkuran dapat tersimpan dan dapat diolah sesuai kebutuhan dengan mudah. Data hasil pengukuran yang tersimpan pada Microsoft Excell adalah data pengukuran intensitas cahaya dan waktu pengukurannya.

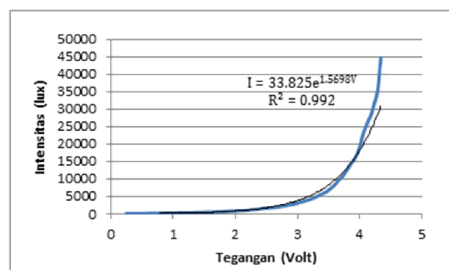
Data pada Microsoft Excell dapat diakses dengan cara membuka lembar kerja Microsoft Excell atau me-*restart* PC sehingga akan tampil perintah SAVE. Maka dengan meng-*cancel icon* RESTART PC dan mengisi form SAVE, data akan tersimpan di Microsoft Excell di folder yang ditentukan.

Untuk menjalankan sistem, Klik *icon Connect* kemudian klik *Running*. Pengukuran dan penyimpanan data mulai dilakukan. Grafik akan berjalan secara otomatis berdasarkan waktu dan perubahan intensitas cahaya. Data intensitas dan waktu pengukuran dapat dilihat pada tabel dan diukur setiap 2 detik. Jika intensitas melebihi 32.000 lux data akan muncul pada tabel $I > 32000$ lux dan durasi akan mulai dihitung dan ditampilkan. Durasi penyinaran ditampilkan dalam satuan jam.

3.2 Spesifikasi Desain Sistem

3.2.1 Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Tegangan Keluaran Rangkaian Sensor LDR.

Pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap tegangan keluaran sensor diselidiki untuk memperoleh persamaan yang menyatakan hubungan antara intensitas cahaya dengan tegangan keluaran rangkaian sensor LDR dengan cara mengukur tegangan keluaran rangkaian sensor LDR dalam keadaan tidak terbebani dan membandingkan hasil pembacaan intensitas cahaya matahari menggunakan alat standar dengan memvariasikan intensitas cahaya yang mengenai sensor. Tegangan keluaran diukur dengan multimeter digital sedangkan intensitas cahaya matahari diukur dengan light meter. Dari hasil pengukuran diperoleh data yang diplot pada grafik berikut.



Gambar 11. Hubungan intensitas cahaya dan tegangan keluaran

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa intensitas cahaya bertambah secara eksponensial terhadap peningkatan tegangan keluaran sensor akibat perubahan nilai resistansi sensor.

Dari grafik dapat diketahui bahwa koefisien korelasi bernilai 0.992 artinya pengukuran tidak menyimpang jauh dari pendekatan grafik. Melalui pendekatan eksponensial ini diperoleh persamaan hubungan intensitas cahaya dengan tegangan keluaran sensor yang digunakan untuk mengkonversi nilai tegangan keluaran menjadi intensitas cahaya dalam satuan lux, yaitu:

$$I = 33.825e^{1.5698V} \quad (7)$$

3.2.2 Ketepatan Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari

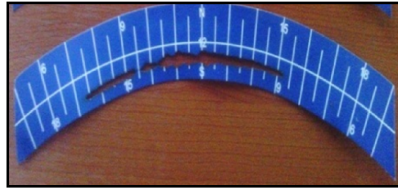
Ketepatan pengukuran intensitas cahaya matahari dapat diketahui dengan membandingkan data intensitas cahaya yang terbaca pada alat ukur dengan alat ukur standar. Dari hasil pengukuran diperoleh kesimpulan bahwa alat ukur memiliki persentase ketepatan berkisar antara 94,112% sampai 99,986% dengan persentase ketepatan rata-rata sebesar 98,79% dan persentase kesalahan berkisar antara 0,014% sampai 5,888% dengan persentase rata-rata 1,21%.

3.2.3 Ketelitian Pengukuran Intensitas Cahaya

Ketelitian pengukuran intensitas cahaya diperoleh dengan cara melakukan pengukuran berulang terhadap intensitas tertentu. Data dibandingkan dengan alat standar yaitu luxmeter. Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa ketelitian alat berkisar antara 0.9979 sampai 0.9999 dengan ketelitian rata-rata alat ialah 0.9993, persentase kesalahan relatif alat berkisar antara 0.0041% sampai 0.0676% dengan persentase kesalahan relatif rata-rata alat bernilai 0.0697%, dan standar deviasi alat berkisar antara 0.950 sampai 87.725 dengan rata-rata standar deviasi ialah 23,965. Pada pengukuran intensitas cahaya dibawah 32000 lux standar deviasi bernilai kecil yaitu berkisar antara 1 sampai 10, sedangkan pada pengukuran intensitas cahaya yang lebih besar dari 32000 lux, standar deviasi lebih dari 50. Hal itu berarti alat ukur ini sangat baik digunakan untuk mengukur intensitas cahaya dibawah 32000 lux.

3.2.4 Ketepatan Pengukuran Durasi Penyinaran Matahari

Ketepatan pengukuran durasi penyinaran matahari diukur dengan membandingkan hasil pengukuran menggunakan alat ukur yang dibuat dengan alat ukur standar. Pengukuran dilakukan selama 5 hari yaitu pada tanggal 5 Juli 2014, 6 Juli 2014, 7 Juli 2014, 9 Juli 2014, dan 10 Juli 2014. Alat ukur standar yang digunakan adalah Campbell Stokes yang terdapat di Stasiun Meteorologi Kelas II Minangkabau Padang. Data hasil pengukuran durasi penyinaran matahari pada Campbell Stokes dibaca melalui kertas pias yang terdapat pada alat ukur tersebut, seperti pada Gambar 12. Perbandingan data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 12. Kertas pias campbell stokes

Kertas pias yang digunakan pada Campbell Stokes memiliki garis skala yang menyatakan satuan jam. Ketika terjadi penyinaran matahari secara langsung, kertas pias ini akan terbakar. Jumlah kumulatif dari jejak titik bakar ini disebut dengan durasi penyinaran matahari. Pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa nilai durasi penyinaran matahari ialah 7,7 jam atau 462 menit.

Tabel 1 Data ketepatan hasil pengukuran durasi penyinaran matahari

No	Hari/tanggal	A (menit)	B (menit)	% Kesalahan	% Ketepatan
1	Sabtu, 5/7/2014	50,77	48	5,76	94,24
2	Minggu, 6/7/2014	450,03	462	2,59	97,41
3	Senin, 7/7/2014	76,77	84	8,61	91,39
4	Rabu, 9/7/2014	203,2	216	5,926	94,07
5	Kamis, 10/7/2014	66,43	72	7,73	92,27
Rata-rata				6,1232	93,876

Ket : A = Alat ukur yang dibuat

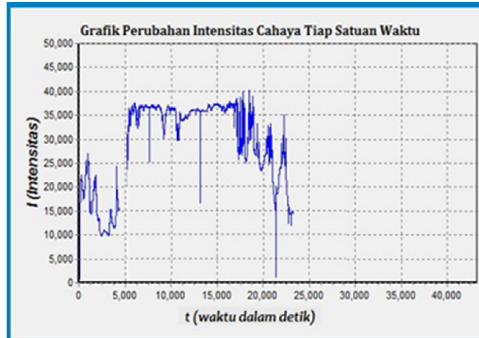
B = Alat ukur standar

Berdasarkan data hasil pengukuran pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa kesalahan sistem berkisar antara 2,59% sampai 8,61% dengan kesalahan rata-rata sistem sebesar 6,1232%. Sedangkan persentase ketepatan sistem berkisar antara 91,39% sampai 97,41% dengan ketepatan rata-rata bernilai 93,876%.

3.3 Variasi Intensitas dan Durasi Penyinaran Matahari

3.3.1 Variasi Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas penyinaran matahari dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah posisi bumi mengelilingi matahari dan keadaan awan di atmosfer. Data pengukuran variasi intensitas cahaya matahari selama satu hari diambil pada tanggal 9 Juli 2014. Dari data dapat diplot grafik untuk mengetahui dan menganalisa perubahan naik turunnya intensitas cahaya matahari dalam waktu satu hari. Gambaran naik turunnya intensitas cahaya matahari ini dapat dilihat langsung pada saat pengukuran melalui tampilan grafik pada PC (seperti Gambar 13).

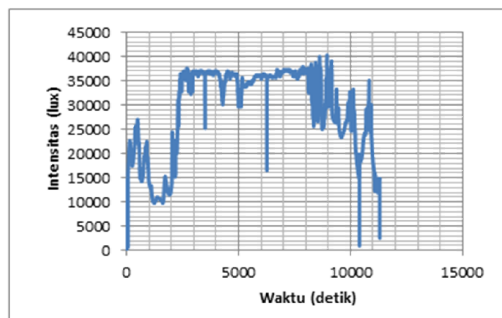


Gambar 13. Data hasil pengukuran intensitas cahaya matahari diplot oleh sistem

Pengukuran dilakukan mulai pukul 7:30 WIB sehingga ketika itu cahaya matahari sudah naik secara drastis mulai dari intensitas 8610 lux dan terus naik sampai melebihi 32000 lux. Sumbu X menyatakan waktu pengukuran dalam satuan detik. Pada grafik angka 0 pada sumbu X sama dengan pukul 7:30 yaitu interpretasi dari waktu awal pengukuran. Intensitas cahaya naik turun berdasarkan kondisi awan di atmosfer. Intensitas cahaya matahari mulai stabil pada intensitas melebihi 32000 lux yaitu sekitar pukul 9 pagi.

Kondisi awan di atmosfer sangat menentukan besarnya intensitas cahaya matahari yang menyinari permukaan bumi karena dapat menghalangi penyinaran secara langsung. Intensitas cahaya minimum pada tanggal 9 Juli 2014 adalah 888,60 sedangkan intensitas maksimum adalah 40253 lux. Dari hasil pengukuran dapat diketahui bahwa durasi penyinaran pada hari Rabu tanggal 9 Juli adalah 203,2 menit.

Pada saat pengukuran berlangsung, komputer harus dipastikan berada dalam keadaan *stand-by* agar pengukuran tidak terhenti akibat pengiriman data dari mikrokontroler ke PC terganggu. Untuk keperluan pengolahan data, data disimpan dalam format *.xls sehingga hasil pengukuran dapat diolah kembali tanpa harus mem-*printscreen* tampilan data pada PC saat pengukuran berlangsung. Adapun data pengukuran yang tersimpan diplot menggunakan Microsoft Excell dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Data hasil pengukuran intensitas cahaya matahari diplot menggunakan microsoft excell

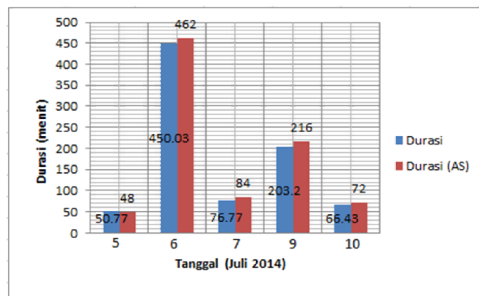
Dari Gambar 14 dapat dilihat grafik hasil plot data pengukuran yang tersimpan di Microsoft Excell. Dari grafik terlihat pola kecenderungan intensitas cahaya matahari selama satu hari. Grafik yang ditampilkan di PC dan grafik yang diplot di Excell menunjukkan kesesuaian pola

intensitas yang sama selama satu hari pengukuran. Hal itu menunjukkan bahwa sistem selain dapat menampilkan data dalam bentuk tabel juga dapat menampilkan data dalam bentuk grafik dengan akurasi yang cukup baik. Namun grafik pada Microsoft Excell merupakan interpretasi data yang diambil setiap 2 detik, sedangkan grafik pada tampilan PC menggambarkan data yang dicatat setiap detik sehingga terdapat perbedaan kisaran nilai pada sumbu X antara grafik hasil olahan Microsoft Excell dengan tampilan PC. Namun sebenarnya kedua grafik tersebut tidak berbeda karena menggunakan data yang sama. Sehingga data hasil pengukuran yang tersimpan dapat dijadikan acuan untuk keperluan pengolahan data, analisis data dan lain sebagainya.

3.3.2 Variasi Durasi Penyinaran Matahari

Durasi penyinaran matahari didefinisikan sebagai jumlah kumulatif lamanya penyinaran matahari secara langsung selama satu hari. Penyinaran matahari ini akan mempengaruhi faktor-faktor cuaca diantaranya seperti suhu udara, kelembaban udara, awan, dan curah hujan. Semakin lama penyinaran yang diterima permukaan bumi akan meningkatkan suhu udara, mengurangi kelembaban udara, mempengaruhi penguapan, terbentuknya awan dan mempengaruhi intensitas hujan.

Durasi penyinaran matahari akan berbeda setiap harinya. Variasi durasi penyinaran matahari diukur selama 5 hari untuk melihat perbedaan lamanya penyinaran matahari dalam selang waktu tersebut. Pengukuran dilakukan pada tanggal 5, 6, 7, 9, dan 10 Juli 2014. Dari hasil pengukuran diperoleh data variasi durasi penyinaran yang dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 15. Variasi durasi penyinaran matahari

Setiap harinya durasi penyinaran akan berbeda. Hal itu dipengaruhi oleh keadaan cuaca pada hari-hari sebelumnya. Lamanya penyinaran matahari mempengaruhi terjadinya penguapan dan intensitas hujan. Dari Gambar 28 terlihat variasi durasi penyinaran setiap harinya. Dari 5 hari waktu pengukuran, durasi penyinaran maksimum adalah pada tanggal 6 Juli 2014 yaitu 450.03 menit sedangkan durasi penyinaran matahari minimum adalah pada tanggal 5 Juli 2014 yaitu 50.77 menit. Pengukuran pada tanggal 8 Juli tidak dilakukan karena curah hujan yang tinggi pada hari tersebut sehingga diperkirakan durasi penyinaran adalah 0.

Adapun kelebihan sistem yang dibuat dapat dinilai dari sisi tampilan dan penyimpanan data. Data hasil pengukuran ditampilkan pada PC dalam bentuk tabel dan grafik. Dari PC dapat dilihat data hasil pengukuran intensitas setiap 2 detik, waktu pengukuran, data durasi penyinaran matahari dalam satuan jam, dan bentuk grafik naik turunnya intensitas cahaya matahari setiap detik. Selain itu data secara otomatis disimpan pada Microsoft

Excell sehingga setiap data yang diukur dapat diakses kembali. Kelebihan lain dari sistem ini dapat juga dinilai dari sistem mekanik dan jumlah sensor yang digunakan. Alat ukur hanya menggunakan satu buah sensor yang bergerak mengikuti pergerakan semu harian matahari. Pergerakan sensor ini dikendalikan oleh motor stepper unipolar yang berperan sebagai sistem mekanik pada alat ini.

Adapun kekurangan dari alat ini yang pertama ialah posisi sensor tidak dapat menyesuaikan dengan pergerakan semu tahunan matahari. Sehingga letak alat ukur perlu diubah pada waktu tertentu untuk menyesuaikan dengan pergerakan semu tahunan matahari. Kelemahan ini dapat diatasi dengan menambahkan sistem mekanik.

Kedua, pada intensitas yang tinggi standar deviasi hasil pengukuran mulai besar, sehingga batas ukur untuk alat ukur ini hanya sampai 50.000 lux saja. Ketiga, dibutuhkan kabel power dan USB yang panjang untuk menghubungkan alat ukur ini ke sumber listrik dan PC karena alat ukur ditempatkan di taman terbuka yang bebas halangan dan dibutuhkan sistem charger sebagai catu daya alternatif yang dapat digunakan ketika arus listrik dari PLN tidak mengalir.

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambahkan sistem mekanik untuk menyesuaikan posisi sensor dengan pergerakan semu tahunan matahari. Selain itu penelitian juga dapat dikembangkan dengan membangun sistem berbasis SMS atau web sehingga koneksi dan pengiriman data dapat lebih efisien.

4 Kesimpulan

1. Spesifikasi performansi sistem pengukuran intensitas dan durasi penyinaran matahari dibangun dari beberapa blok rangkaian yaitu rangkaian pengolah sinyal sensor menggunakan rangkaian pembagi tegangan, rangkaian driver motor stepper unipolar menggunakan IC ULN2003A, rangkaian catu daya dengan keluaran 5 volt dan 12 volt, dan rangkaian mikrokontroler menggunakan ATMEGA328 Arduino Uno. Tampilan sistem menggunakan LCD dan PC. Tampilan PC menggunakan Borland Delphi 7. Sensor yang digunakan adalah satu buah sensor cahaya yang dikendalikan oleh pergerakan mekanik motor stepper. Data yang diukur disimpan secara otomatis dalam format *xls.
2. Spesifikasi desain sistem pengukuran intensitas dan durasi penyinaran matahari ini diantaranya ialah memiliki ketelitian rata-rata pengukuran intensitas cahaya matahari sebesar 0,9993 dengan persentase kesalahan relatif rata-rata 0,0697 % dan rata-rata standar deviasi ialah 23,965. Sedangkan persentase ketepatan pengukuran intensitas cahaya matahari ialah 98,79% dengan persentase kesalahan 1,21%. Pada pengukuran durasi penyinaran matahari, alat ukur memiliki kesalahan rata-rata pengukuran sebesar 6,1232% dengan ketepatan rata-rata bernilai 93,876%.

5 Daftar Pustaka

- [1] Bayong Tjasyono. 2007. *Sains Atmosfer dan Iklim*, Disampaikan pada *Short Course Ilmu Kebumihan untuk Masyarakat Lapan-BMG*.
- [2] Ance Gunarsih Kartasapoetra. 2012. "*Klimatologi: Pengaruh Iklim Terhadap Tanah dan Tanaman*". Bumi Aksara.

- [3] Arturo Sanchez-Lorenzo dkk. 2009. "Dimming / Brightening Over The Iberian Peninsula Trends in Sunshine Duration and Cloud Cover and Their Relations with Atmospheric Circulation". *Journal Of Geophysical Research*. **114**, D00D09.
- [4] Peter Hiscocks. 2011. *Measuring Light*. Ryerson University.
- [5] Viorel Badescu. 2008. *Modeling Solar Radiation at The Earth's Surface*, Springer.
- [6] Ridho Pratama dkk. 2013. "Pembuatan Sistem Pengukuran Durasi Penyinaran Matahari Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535 Menggunakan Sensor LDR". *Jurnal Pillar Of Physics*. **2**, 99-106.
- [7] Yulkifli. 2011. "Sensor Fluxgate", STAIN Press ISBN No. 978-602-8887-13-7.
- [8] Zulhendri Kamus dan Ridho Pratama. 2013. "Aplikasi Light Dependent Resistor Untuk Pengembangan Sistem Pengukuran Durasi Harian Penyinaran Matahari", Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung.
- [9] Ramon Zamora dkk. 2005. "Sistem Pengendalian Motor Stepper Tanpa Kabel Berbasis Mikrokontroler AT89C51". *Jurnal Rekayasa Elektrik*. **4**(2).
- [10] Gilmore. 1995. "Microprocessors: Principles and Applications". McGraw-Hill.
- [11] Abdul Kadir. 2012. "Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya menggunakan Arduino". Andi Offset.
- [12] Eko Kristianto. 2013. "Monitoring Suhu Jarak Jauh Generator AC Berbasis Mikrokontroler". UNY, Yogyakarta.
- [13] Raka Agung dan Irwan Susanto. 2012. "Rancang Bangun Prototipe Penghitung Jumlah Orang dalam Ruang Terpadu Berbasis Mikrokontroler ATMEGA328P". *Jurnal Teknologi Elektro*, 11(1).
- [14] Helmi Guntoro dkk. 2013. "Rancang Bangun Magnetic Door Lock Menggunakan Keypad dan Solenoid Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno". *Jurnal Electrans*. **12** (1), 39-48.