

PEMBUATAN ALAT UKUR SUDUT DATANG DAN INTENSITAS CAHAYA MATAHARI REAL TIME MENGGUNAKAN SENSOR ACCELEROMETER DAN LDR

Ocha Samantha Feriyana¹⁾ dan Zuhendri Kamus²⁾

*Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang,
Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang 25131*

¹⁾ochasamantha7@gmail.com

²⁾zuhendrikamus75@gmail.com

ABSTRACT

This research aims to determine the accuracy and accuracy of the measuring instrument of the angle of arrival and the intensity of sunlight in real time using an accelerometer sensor and LDR. . To achieve this goal, R & D research was conducted which consisted of: reviewing existing tools, conducting literature studies, planning tool development, internal testing of tool design, revision of tool design, limited testing of measuring instruments, revision of measuring instruments and field trials main. Data were analyzed using calculations to find out the accuracy of measurements. The results of data analysis explain two important things from making a measuring instrument system. First, the angle of view measuring instrument and the intensity of sunlight consist of an accelerometer sensor and LDR. Measurement data is displayed on the LCD. Second, the accuracy and accuracy of the measuring instrument. In the measurement results, the azimuth values obtained from the measuring instrument are compared with the data obtained from BMKG. From the results of these comparisons, the average percentage of accuracy and error in measuring instruments is 95.5% and 4.52%. In the sun light intensity, the results of data analysis showed that the accuracy and error measurement of light intensity were 92.83% and 7.17% respectively.

Keywords : *Accelerometer, LDR*

PENDAHULUAN

Saat ini perkembangan teknologi tidak lepas dari peranan fisika sebagai ilmu dasar. Fisika berawal dari pola pikir dan rasa ingin tahu manusia untuk mengungkap rahasia alam. Rasa ingin tahu itu akan memunculkan ide, gagasan dan konsep tentang alam. Metode ilmiah digunakan untuk menghasilkan jawaban tentang rahasia alam.

Kemajuan ilmu fisika saat ini mempengaruhi kemajuan pada bidang lainnya seperti bidang elektronika yang merupakan aplikasi dan terapan dari fisika. Beberapa peralatan elektronika saat ini memberikan kemudahan dan manfaat dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Selain itu elektronika juga memberikan manfaat dalam penelitian ilmiah. Peralatan-peralatan dalam kimia, fisika dan biologi banyak sekali yang menggunakan elektronika yang amat canggih. Demikian juga alat-alat uji dan ukur yang digunakan di bengkel-bengkel dan laboratorium ilmu dan teknologi. Dari pernyataan tersebut terlihat bahwa seluruh elemen ilmu pengetahuan dan teknologi memanfaatkan elektronika sebagai alat bantu dalam menunjang ilmu pengetahuan dan teknologi

Cuaca adalah gabungan dari gejala-gejala alam yang dapat menentukan kondisi udara pada suatu daerah dalam jangka waktu tertentu. Cuaca berpengaruh pada kehidupan manusia seperti pada bidang pertanian, transportasi dan industri. Selain itu,

cuaca juga sering menyebabkan bencana seperti kemarau panjang, badai dan banjir. Melalui prakiraan cuaca, manusia dapat melakukan perencanaan kegiatan. Jadi pengamatan terhadap cuaca sangat penting untuk dilakukan.

Matahari merupakan pengatur cuaca yang sangat penting dan berperan sebagai sumber energi di bumi. Energi matahari dipancarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Penyinaran matahari sampai ke permukaan bumi dipengaruhi oleh beberapa hal seperti kondisi awan dan sudut yang dibentuk oleh sinar datang matahari terhadap perubahan permukaan bumi. Sudut yang dibentuk antara sinar datang matahari terhadap permukaan bumi disebabkan oleh adanya rotasi bumi. Sudut yang terbentuk inilah yang akan diukur oleh pengamat dalam menentukan cuaca di suatu tempat. Selain sudut matahari, intensitas cahaya dan durasi penyinaran matahari juga harus sebagai parameter dalam menentukan keadaan cuaca. Karena itu, ada beberapa parameter sinar matahari yang penting diukur untuk menentukan keadaan cuaca

Theodolit adalah instrument/alat yang digunakan untuk mengukur sudut yaitu sudut mendatar atau sudut horizontal dan sudut ketinggian atau sudut vertical^[1]. Sudut-sudut tersebut berperan untuk menentukan jarak horizontal dan vertikal. Fungsi dari theodolit untuk mengukur sudut ketinggian matahari. Hasil pengukuran sudut

ketinggian dapat digunakan dalam penentuan azimuth matahari. Penggunaan dari theodolit analog ini membutuhkan kemampuan khusus agar data yang didapatkan valid dan sesuai syarat-syarat tertentu. Selain itu, theodolit analog juga memiliki kelemahan yaitu pengamatan yang dilakukan menggunakan indra penglihatan atau mata sehingga menimbulkan perbedaan data yang di dapat oleh setiap pengamat.

Untuk mengatasi penggunaan dari theodolit analog ini maka dibutuhkan suatu alat yang memiliki parameter ukur sama namun lebih mudah penggunaannya dan bisa digunakan oleh siapa saja tanpa memiliki keterampilan khusus. Salah satu cara yang digunakan adalah dengan membuat theodolit digital. Theodolit digital bisa melakukan pengukuran dengan mudah dan data yang didapat akan ditampilkan pada display.

Saat ini theodolit digital sudah tersedia di pasaran dengan harga yang relative mahal. Harga dari satu theodolit digital berkisar 30 juta – 45 juta rupiah. Harga tersebut kurang ekonomis untuk pengukuran sudut ketinggian dan sudut azimuth matahari. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menghasilkan alat yang memiliki ketelitian yang hampir sama namun dengan harga yang lebih ekonomis.

Disisi lain, alat yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari adalah light meter. Ridho (2013) telah melakukan penelitian untuk menghasilkan instrumen yang dapat mengukur intensitas cahaya matahari dengan menggunakan sensor cahaya LDR. Namun, penelitian ini masih memiliki kelemahan karena menggunakan 8 sensor yang disusun dengan rentangan jarak 20° sehingga pada beberapa posisi matahari terdapat penyimpangan terhadap hasil pengukuran^[2].

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, penulis tertarik untuk membuat sebuah alat ukur yang mampu mencakup dua unsur yang dibutuhkan dalam menentukan cuaca. Selain itu, alat yang dibuat dapat menyempurnakan alat yang telah ada sebelumnya dan harga yang relatif lebih murah. Karena itu judul dari penelitian ini yaitu “Pembuatan Alat Ukur Sudut Datang dan Intensitas Cahaya Matahari Menggunakan Sensor Accelerometer dan LDR”.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang sesuai dengan permasalahan dan tujuan yang telah dikemukakan adalah penelitian dan pengembangan (Research and Development / R&D). Metode penelitian dan pengembangan merupakan jenis metode yang bertujuan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji peroduk tersebut. Pada penelitian ini produk yang dihasilkan dan dilakukan pengujian adalah alat ukur sudut datang dan intensitas cahaya matahari real time menggunakan sensor LDR dan *accelerometer*.

Tahap-tahap pengembangan alat ukur sudut datang dan intensitas cahaya matahari real time menggunakan sensor LDR dan *accelerometer* yaitu : 1) mengkaji alat yang sudah ada; 2) melakukan studi literatur; 3) perencanaan pengembangan alat; 4) pengujian internal desain alat; 5) revisi desain alat; 6) uji coba terbatas alat ukur; 7)revisi alat ukur 1; 8)uji coba lapangan utama; 9) revisi alat ukur 2; 10) uji coba lapangan operasional. Namun pada penelitian ini hanya dibatasi sampai revisi alat ukur 2.

Instrumen yang digunakan dalam pengumpulan data terdiri dari tiga bagian yaitu instrument validitas, instrument efektifitas dan instrumen praktikalitas. Instrumen validitas digunakan untuk mengetahui kevalidan alat ukur ukur. Instrumen efektifitas digunakan untuk melihat ketelitian dan ketepatan alat ukur terhadap alat ukur standart dan instrumen praktikalitas digunakan untuk mengetahui kepraktisan dari produk yang dihasilkan dalam melakukan pengukuran.

Pengujian internal desain merupakan tahap dalam pegujian alat ukur yang telah dibuat yaitu: 1) pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap tegangan keluaran; 2) mengkalibrasi sensor *accelerometer*.

Pengujian lapangan terbatas alat ukur sudut datang dan intensitas cahaya matahari real time menggunakan sensor LDR dan *accelerometer* merupakan uji terbatas alat ukur. Analisis efektifitas ini bertujuan untuk melihat ketepatan antara alat ukur yang dibuat dengan alat ukur standart. Ketepatan alat ukur dapat ditentukan dari persentase kesalahan antara nilai yang terbaca pada alat standart dan yang terbaca pada alat ukur. Persentase kesalahan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Persentase kesalahan} = \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \times 100\%$$

Y_n = Nilai yang terbaca alat standart dan X_n = Nilai yang terbaca pada alat ukur.

Pengujian lapangan utama alat ukur sudut datang dan intensitas cahaya matahari real time menggunakan sensor LDR dan *accelerometer* bertujuan untuk melihat kemudahan dalam penggunaan alat ukur. Baik dari segi pengoperasian alat ukur maupun pengambilan data alat ukur.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Berdasarkan langkah – langkah yang terdapat dalam metode penelitian yang terdiri dari mengkaji alat yang sudah ada, melakukan studi literatur, perencanaan pengembangan alat, pengujian internal, revisi desain alat, pembuatan alat ukur, uji coba terbatas alat ukur, revisi alat ukur 1, dan pengujian lapangan utama maka dapat dikemukakan tiga hasil penelitian yaitu hasil pengujian internal, hasil pengujian lapangan terbatas dan hasil pengujian lapangan utama.

1. Pengujian Internal

Pengujian internal dalam tahap pengembangan ini melibatkan pengujian pada karakteristik sensor yang digunakan pada alat ukur. Alat ukur sudut datang dan intensitas cahaya matahari memiliki dua buah sensor yaitu LDR sebagai sensor cahaya dan *accelerometer* sebagai sensor sudut. Pengujian karakteristik sensor bertujuan agar lebih mempermudah dalam merancang alat ukur yang akan dibuat.

Sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) adalah sensor yang merubah stimulus berupa cahaya menjadi hambatan listrik. LDR juga dikenal dengan nama fotoresistor. Karakteristik LDR yang akan bernilai resistansi kecil ketika dikenai cahaya dan bernilai resistansi besar saat kondisi gelap. Perubahan besar resistansi LDR saat dikenai cahaya maka akan terjadi juga perubahan tegangan yang dihasilkan.

Tegangan keluaran rangkaian sensor LDR naik sesuai dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari. Nilai tegangan keluaran naik secara signifikan sesuai dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari. Untuk cahaya matahari pada intensita tinggi perubahan nilai tegangan keluaran semakin naik, sehingga peneliti menetapkan batas maksimum untuk pengukuran intensitas cahaya sebesar 50.000 lux. Hal ini dikarenakan alat standar yang digunakan yaitu light meter merek Lutron tipe LX-103 juga memiliki batas ukur maksimum 50.000 lux.

Accelerometer adalah sensor yang digunakan untuk mengukur percepatan suatu objek, yaitu mengukur percepatan statis dan dinamisnya. Pengukuran dinamis adalah pengukuran percepatan pada objek bergerak, sedangkan pengukuran statis adalah pengukuran terhadap gravitasi bumi, lebih tepatnya untuk mengukur sudut kemiringan. *Accelerometer* MPU-6050 yang digunakan pada alat ukur merupakan modul berinti MPU-6050 yang merupakan 6 axis *Motion Processing Unit* dengan penambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya yang membuat modul ini siap pakai dengan tegangan *supply* sebesar 3-5 VDC.

Accelerometer MPU-6050 berisi sebuah *Microelectromechanical Systems* (MEMS). *Accelerometer* dan sebuah MEMS *Gyro* yang saling terintegrasi dapat menangkap nilai sudut X, Y, dan Z bersamaan dalam satu waktu. Kemampuan dari *accelerometer* ini yang digunakan sebagai sensor untuk mengukur sudut datang sinar matahari dalam nilai sudut azimuth matahari.

2. Revisi Desain

Revisi desain dilakukan berdasarkan hasil uji internal alat ukur. Posisi sensor LDR dan *accelerometer* sangat mempengaruhi kerja alat ukur dalam mengambil data. Sensor *accelerometer* diletakkan diantara empat buah LDR yang digunakan

pada alat ukur. *Accelerometer* berada didalam tabung yang digunakan sebagai skat antara keempat sensor LDR, ukuran tinggi tabung yang digunakan adalah 17,5 cm dengan lebar 7 cm. Semua sensor yang digunakan diletakkan diatas akrilik berukuran 17x15 cm.

3. Pembuatan Alat Ukur

Alat ukur sudut datang dan intensitas cahaya matahari terdiri dari rangkaian dan lengan sensor sebagai penggerak sensor mengikuti posisi matahari. Hasil pengukuran yang didapat dari sensor akan ditampilkan pada LCD. Adapun bentuk dari alat ukur terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Foto Alat Ukur Sudut Datang dan Intensitas Cahaya Matahari

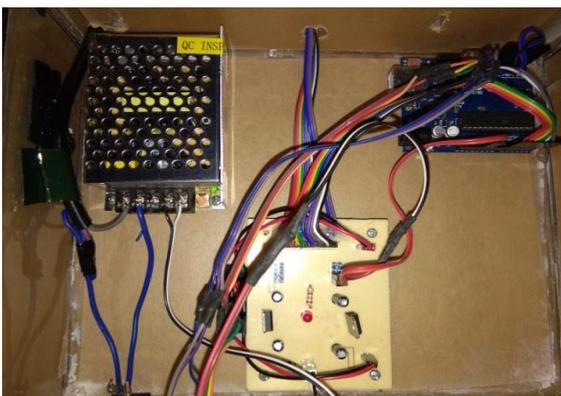
Bagian-bagian pembangun alat ukur sudut ketinggian matahari dan intensitas cahaya matahari dengan fungsinya dapat dijelaskan melalui foto hasil pembuatan alat ukur sudut ketinggian matahari dan intensitas cahaya matahari dapat dilihat pada gambar 1. Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa sensor terletak di antara lengan sensor. Sensor LDR yang terpasang berfungsi sebagai sensor yang dapat mendeteksi cahaya matahari, sedangkan sensor *accelerometer* berfungsi sebagai pengukur sudut datang sinar matahari.

Pada alat ukur ini sensor LDR yang digunakan terdiri dari empat buah sensor, dimana masing-masing sensor diberi sekat. Penggunaan empat buah sensor LDR bertujuan agar sensor mampu mendeteksi cahaya matahari kesegala arah. Tujuan dari pemasangan sekat antara sensor LDR agar dapat membedakan keluaran dari sensor LDR apabila sensor tidak menghadap tepat kearah matahari. Karena semakin besar cahaya matahari yang ditangkap oleh sensor maka resistansinya akan semakin kecil. Karakteristik dari sensor dimanfaatkan untuk mendeteksi posisi matahari, dengan menghubungkan lengan sensor pada sistem dua sumbu. Pada masing-masing sumbu digerakkan oleh motor servo. Motor servo yang pertama berfungsi sebagai penggerak ke arah utara dan selatan, sedangkan motor servo yang kedua berfungsi sebagai penggerak kearah timur dan barat.

Masing-masing sensor dibagi menjadi empat bagian yaitu bagian utara, selatan, timur dan barat. Prinsip kerjanya yaitu apabila sensor bagian utara lebih kecil nilai keluarannya dibandingkan dengan sensor bagian selatan, maka program dalam arduino akan memerintahkan motor servo pertama untuk bergerak kearah utara. Sebaliknya, apabila sensor bagian selatan lebih kecil nilai keluarannya dibandingkan dengan sensor bagian utara, maka program akan memerintahkan motor servo pertama bergerak kearah selatan. Sedangkan pada sensor bagian timur, apabila keluaran sensor bagian timur lebih kecil dibandingkan dengan keluaran sensor bagian barat, maka program akan memerintahkan motor servo ke dua untuk bergerak kearah timur. Sebaliknya, apabila keluaran sensor bagian barat lebih kecil dibandingkan dengan keluaran sensor bagian timur maka program akan memerintahkan motor servo untuk bergerak kearah barat. Proses tersebut akan terus berjalan sampai nilai keluaran sensor benar-benar sama.

Ketika nilai keluaran dari keempat sensor LDR sama besar mengartikan bahwa posisi sensor LDR berada tepat tegak lurus terhadap arah datangnya cahaya matahari. Keadaan tersebut otomatis menyebabkan sensor *accelerometer* berada juga tepat tegak lurus terhadap arah datangnya cahaya matahari, karena sensor LDR dan sensor *accelerometer* berada pada bidang yang sama. Sensor *accelerometer* memiliki tiga axis serta output untuk masing-masing axis yaitu axis X, Y dan Z. Akan tetapi pada penelitian ini data yang diambil pada axis Z saja karena hanya data azimuth yang dibutuhkan.

Alat ukur sudut datang dan intensitas cahaya matahari terdiri dari beberapa rangkaian elektronika. Rangkaian tersebut dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Sistem Alat Ukur Sudut Datang dan Intensitas Cahaya Matahari

Pada gambar 2 dapat dilihat terdiri dari catu daya dan arduino. Catu daya berfungsi untuk mensuplai arus dan tegangan. Rangkaian catu daya ini menghasilkan tegangan keluaran sebesar 12 volt untuk mengaktifkan motor servo yang digunakan. Selanjutnya catu daya 5 volt digunakan untuk

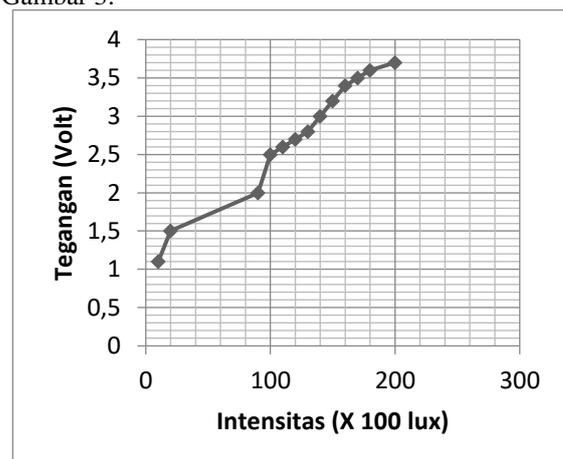
mengaktifkan arduino, dari arduino tegangan tersebut dialirkan ke ke masing-masing sensor LDR, *accelerometer* dan LCD. Arduino uno berfungsi untuk melakukan proses deteksi data masukan, mengolah data, dan mengatur keluaran yang ditampilkan pada LCD sesuai dengan fungsi alat ukur yang dikehendaki.

4. Pengujian Lapangan Awal/Terbatas

Pengujian lapangan terbatas dilakukan dengan cara menggunakan rancangan alat ukur untuk diterapkan dalam kondisi nyata. Pengujian dilakukan berulang kali pada sensor yang digunakan alat ukur. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah pengamatan dan dokumentasi. Pengamatan dilakukan untuk mengamati kinerja dari setiap sensor dan dokumentasi untuk mencatat hasil yang dapat diamati dengan membandingkan data yang terukur pada alat ukur yang dibuat dengan alat standard. Adapun data yang didapatkan pada tahap ini yaitu nilai tegangan keluaran dari rangkaian sensor LDR dan kalibrasi sensor *accelerometer*.

a. Pengukuran Tegangan Keluaran Rangkaian Sensor LDR

Pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap tegangan keluaran dapat diselidiki dengan cara mengukur tegangan keluaran dari berbagai variasi intensitas cahaya matahari. Pengukuran dilakukan sampai intensitas 50.000 lux dikarenakan batas ukur alat standart yang digunakan hanya mampu mengukur sampai 50.000 lux. Tegangan keluaran akan diukur dengan multimeter digital dan intensitas cahaya matahari menggunakan lux meter. Data yang diperoleh dapat diplot pada grafik dengan menempatkan intensitas cahaya matahari pada sumbu x dan tegangan keluaran pada sumbu y, sehingga didapat grafik seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Tegangan Keluaran Dengan Intensitas Cahaya

Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat bahwa tegangan keluaran meningkat seiring dengan peningkatan intensitas cahaya. Pada alat ukur yang dibuat tegangan maksimum yang di dapat adalah 5 volt.

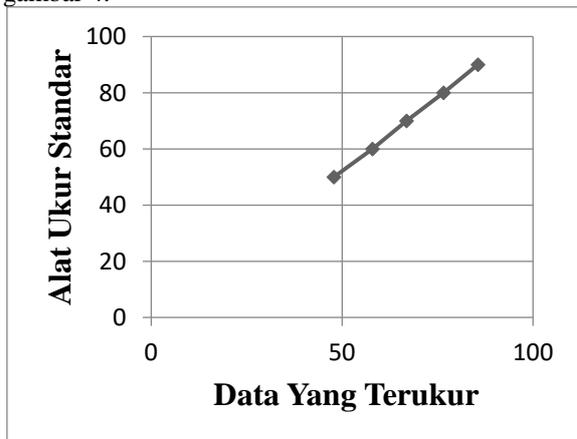
b. Kalibrasi Sensor *Accelerometer*

Sebelum *accelerometer* digunakan sebagai sensor untuk mengukur sudut, penting sekali untuk dilakukan kalibrasi terlebih dahulu agar data yang didapat dari sensor layak digunakan. Ada beberapa alat pengukur sudut yang dapat digunakan untuk mengkalibrasi sensor. Akan tetapi karena keterbatasan penulis, maka kalibrasi hanya dilakukan menggunakan busur. Perhitungan nilai rata-rata persentase, kesalahan, ketepatan relative dan persentase ketepatan untuk perbandingan dengan alat standard dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Kalibrasi Sensor *Accelerometer*

No	Alat Standar (°)	Terukur (°)	Persentase Kesalahan (%)	Ketepatan Relatif	Persentase Ketepatan (%)
1	90	85.55	4.94	0.95	95.06
2	80	76.59	4.26	0.96	95.74
3	70	66.83	4.53	0.95	95.48
4	60	57.93	4.35	0.97	96.55
5	50	47.85	4.30	0.96	95.70
Rata - Rata			4.48	0.96	95.71

Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat rata-rata persentase kesalahan sensor *accelerometer* cukup kecil yaitu 4.48% dengan ketepatan system yaitu 95.71% sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor *accelerometer* layak digunakan untuk mengukur sudut datang. Hal ini dapat dilihat grafik perbandingan data *accelerometer* dengan alat ukur standard pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik perbandingan pengukuran alat standar dengan *accelerometer*

5. Revisi Produk 1

Setelah melalui uji coba lapangan awal, terdapat beberapa kendala yaitu sering kali sensor LDR dan *accelerometer* tiba-tiba eror sehingga tidak

mampu mengukur sesuai yang diharapkan. Untuk itu dilakukan pengecekan kembali program yang ditanamkan sehingga alat ukur mampu bekerja sesuai dengan yang dihaapkan.

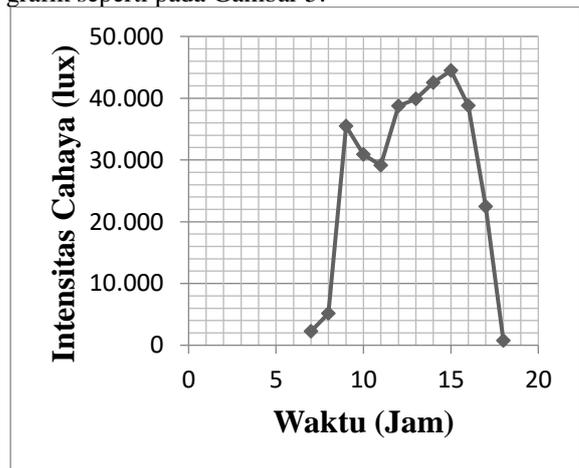
6. Pengujian Lapangan Utama

Pengujian lapangan utama dilakukan dengan cara menggunakan alat ukur pada hasil revisi produk 1 untuk diterapkan dalam kondisi nyata. Pengujian alat ukur adalah dengan melihat ketelitian dan ketepatan hasil alat ukur yang dibuat dengan alat ukur konvensional. Untuk data azimuth matahari dapat dibandingkan dengan data hasil pengukuran azimuth matahari dari BMKG. Sedangkan data intensitas cahaya matahari akan dibandingkan dengan data yang terukur pada lux meter.

Data hasil pengukuran BMKG dan lux meter akan dibandingkan dengan data pengukuran sistem yang dilakukan berulang kali. Nilai perbandingan ini akan diolah secara perhitungan agar diketahui kepastian dari nilai rata-rata, persentase kesalahan, ketepatan relatif dan persentase ketepatan. Perhitungan nilai rata-rata, persentase kesalahan, ketepatan relatif dan persentase ketepatan.

a. Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari

Pengukuran intensitas cahaya matahari dilakukan dengan cara mengukur intensitas cahaya matahari dalam selang waktu tertentu. Pengukuran intensitas cahaya matahari dilakukan setiap 1 jam dari jam tujuh pagi hingga jam enam sore selama 3 hari. Pengukuran intensitas cahaya matahari hari pertama dilakukan pada hari Jum'at tanggal 20 Juli 2018. 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 5.

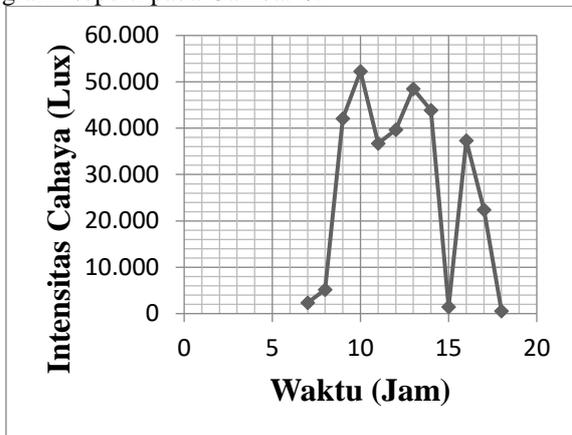


Gambar 5. Variasi Intensitas Cahaya Matahari Hari Pertama

Pada Gambar 5 dapat dijelaskan bahwa intensitas cahaya matahari naik perlahan hingga jam 09.00. Intensitas cahaya meningkat drastis pada jam 09.00 hingga mencapai 35.506 lux. Kemudian intensitas cahaya turun dan naik tergantung pada kondisi awan di atmosfer. Intensitas cahaya matahari

tertinggi adalah 44.468 lux. Setelah pukul 15.00 intensitas cahaya matahari turun secara perlahan.

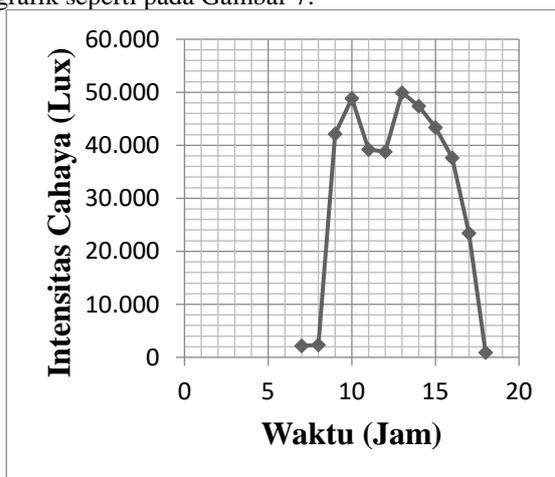
Pengukuran intensitas cahaya matahari hari kedua dilakukan pada hari Sabtu tanggal 21 Juli 2018. Data yang diperoleh diplot dalam bentuk grafik dengan menempatkan waktu pada sumbu X dan intensitas cahaya pada sumbu Y sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Variasi Intensitas Cahaya Matahari Hari Kedua

Pada Gambar 6 dapat dijelaskan bahwa intensitas cahaya matahari mulai naik perlahan pada pukul 08.00. Intensitas cahaya matahari kemudian naik drastis pada pukul 13.00 sehingga nilai maksimum yang terukur sebesar 48.450 lux. Intensitas cahaya matahari naik dan turun bergantung kepada kondisi awan di atmosfer.

Pengukuran intensitas cahaya matahari hari ketiga dilakukan pada hari minggu tanggal 22 Juli 2018. 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 7.

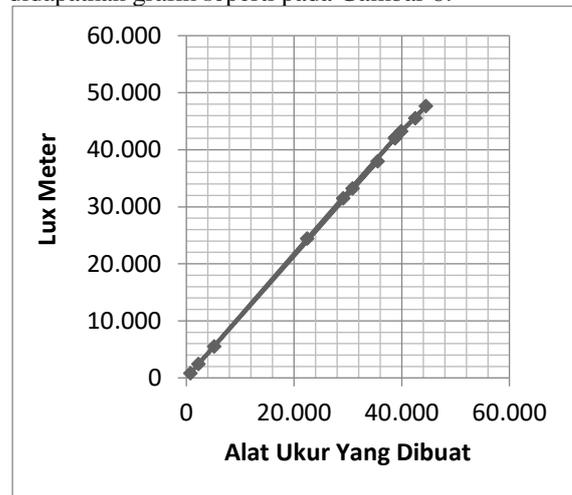


Gambar 7. Variasi Intensitas Cahaya Matahari Hari Ketiga

Pada Gambar 7 dapat dijelaskan bahwa intensitas cahaya matahari mulai naik perlahan pada pukul 08.00. Intensitas cahaya matahari kemudian naik drastis pada pukul 13.00 sehingga nilai

maksimum yang terukur sebesar 49.935 lux. Intensitas cahaya matahari naik dan turun bergantung kepada kondisi awan di atmosfer.

Pengukuran intensitas cahaya matahari juga menggunakan lux meter sebagai alat standard untuk membandingkan data yang terbaca pada alat ukur. Data yang diperoleh diplot dalam bentuk grafik dengan menempatkan data alat ukur pada sumbu X dan data lux meter pada sumbu Y sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 8.



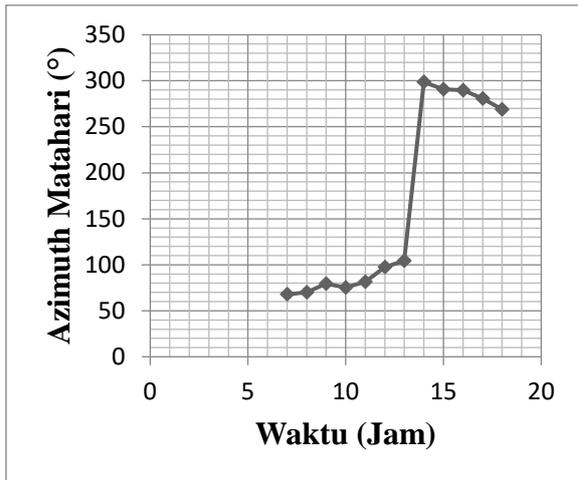
Gambar 8. Grafik Perbandingan Alat Ukur dengan Lux Meter

Pada Gambar 8 menjelaskan perbandingan alat ukur dengan lux meter, perbandingan antara dua hasil pengukuran tersebut beriringan dengan arti pengukuran yang didapat pada alat ukur hampir mendekati nilai yang sebenarnya. Berdasarkan perhitungan persentase ketepatan alat ukur sebesar 92.83%.

b. Variasi Sudut Azimuth Matahari

Variasi sudut azimuth matahari dapat diselidiki dengan cara mengukur sudut azimuth matahari dalam selang waktu tertentu karena sudut azimuth matahari berubah setiap hari. Data yang diambil pada pengukuran hanya pada pukul 13.00 karena menyesuaikan jam pengukuran yang dilakukan oleh BMKG.

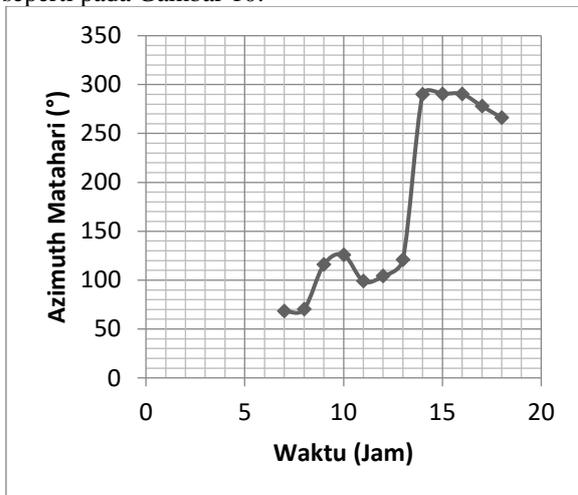
Data hasil pengukuran BMKG akan dibandingkan dengan data pengukuran yang terbaca pada alat ukur. Nilai perbandingan ini akan diolah secara perhitungan agar diketahui persentase kesalahan, ketepatan relatif dan persentase ketepatan. Pengukuran azimuth matahari sama seperti pada pengukuran intensitas cahaya matahari yaitu pada tanggal 20 juli 2018. Data yang diperoleh diplot dalam bentuk grafik dengan menempatkan waktu pada sumbu X dan azimuth matahari pada sumbu Y sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Variasi Sudut Azimuth Matahari

Berdasarkan pada gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai azimuth naik di setiap jamnya. Terjadi peningkatan nilai sudut azimuth yang cukup besar dimulai pukul 13.00 dan sudut azimuth perlahan turun hingga pukul 18.00 yaitu dengan besar 268,98 °

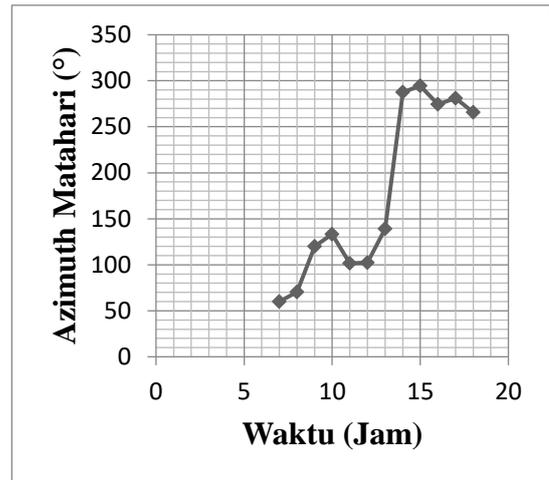
Pengukuran sudut azimuth kedua dilakukan pada hari sabtu tanggal 21 Juli 2018. Data yang diperoleh diplot dalam bentuk grafik dengan menempatkan waktu pada sumbu X dan azimuth matahari pada sumbu Y sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Variasi Sudut Azimuth Matahari

Berdasarkan pada gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai azimuth naik di setiap jamnya. Terjadi peningkatan nilai sudut azimuth yang cukup besar dimulai pukul 14.00 dan sudut azimuth perlahan turun hingga pukul 18.00 yaitu dengan besar 266,12°.

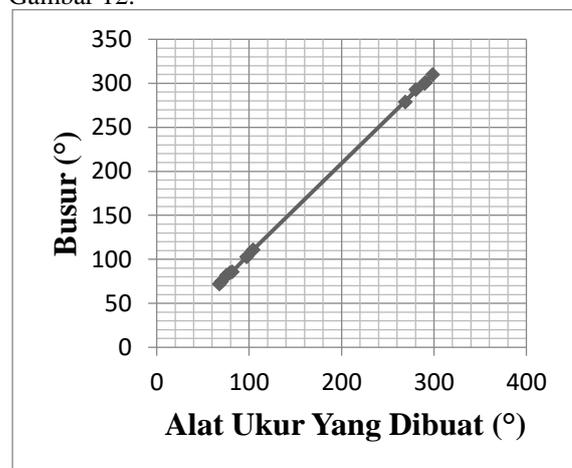
Pengukuran sudut azimuth ketiga dilakukan pada hari minggu tanggal 22 Juli 2018. Data yang diperoleh diplot dalam bentuk grafik dengan menempatkan waktu pada sumbu X dan azimuth matahari pada sumbu Y sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Variasi Sudut Azimuth Matahari

Berdasarkan pada gambar 11 dapat dilihat bahwa nilai azimuth naik di setiap jamnya. Terjadi peningkatan nilai sudut azimuth yang cukup besar dimulai pukul 14.00 dan sudut azimuth perlahan turun hingga pukul 18.00 yaitu dengan besar 265,79°.

Pengukuran azimuth matahari menggunakan busur sebagai alat standard untuk membandingkan data yang terbaca pada alat ukur. Data yang diperoleh diplot dalam bentuk grafik dengan menempatkan data alat ukur pada sumbu X dan data busur pada sumbu Y sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Alat Ukur dengan Busur

Pada Gambar 12 menjelaskan perbandingan alat ukur dengan busur, perbandingan antara dua hasil pengukuran tersebut beriringan dengan arti pengukuran yang didapat pada alat ukur hampir mendekati nilai yang sebenarnya. Berdasarkan perhitungan persentase ketepatan alat ukur sebesar 95%.

B. Pembahasan

Berdasarkan analisis data yang didapatkan bahwa hasil penelitian sesuai dengan tujuan penelitian. Hasil penelitian yang diperoleh meliputi hasil uji internal desain, hasil uji lapangan awal dan hasil uji lapangan utama alat ukur sudut datang dan

intensitas penyinaran matahari. Prinsip kerja dari alat ukur sudut datang dan intensitas cahaya matahari menggunakan sensor *accelerometer* dan LDR ini adalah apabila terdeteksi cahaya matahari oleh sensor LDR maka program akan memerintahkan motor servo untuk menggerakkan lengan sensor sampai sensor LDR tepat menghadap arah datangnya cahaya matahari. Kemudian sensor *accelerometer* akan mengukur sudut ketinggian matahari. Data sudut datang dan intensitas cahaya matahari akan diolah di dalam program arduino. Setelah data diolah maka didapatkan data sudut azimuth dan intensitas cahaya matahari pada hari dilakukannya pengukuran.

Hasil uji lapangan awal dengan mengukur tegangan keluaran pada sensor LDR dimana tegangan sensor LDR naik sesuai dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari. Nilai tegangan keluaran naik secara signifikan pada intensitas kecil. Untuk cahaya pada intensitas tinggi, perubahan nilai tegangan keluaran semakin kecil, sehingga peneliti menetapkan batas maksimum untuk pengukuran intensitas cahaya alat ukur sebesar 50.000 lux. Hal ini juga dikarenakan alat standar yang digunakan yaitu light meter merek Lutron tipe LX-103 juga memiliki batas ukur maksimum 50.000 lux.

Dari hasil analisis data didapatkan bahwa ketepatan dan kesalahan pengukuran intensitas cahaya masing-masing sebesar 92.83% dan 7.17%. Hasil ini menunjukkan alat ini dapat mengukur intensitas cukup tinggi. Alat ini dapat mengukur intensitas cahaya dengan batas ukur intensitas cahaya dari 0 hingga 50.000 lux.

Pada hasil pengukuran, nilai azimuth yang didapat dari alat dibandingkan dengan data yang diperoleh dari BMKG. Dari hasil perbandingan tersebut didapatkan rata-rata persentase ketepatan dan kesalahan alat ukur adalah 95.4% dan 4.60%. Dapat disimpulkan alat memiliki ketelitian yang cukup tinggi dengan persentase kesalahan dibawah 10%.

Alat ukur sudut datang dan intensitas cahaya matahari memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan pertama terjadi pada sistem pengukuran yang diakibatkan oleh nilai keluaran keempat sensor LDR tidak persis sama, artinya sensor LDR tidak benar-benar persis mengarah kepada arah datangnya cahaya matahari. Sehingga menyebabkan pembacaan sudut oleh sensor *accelerometer* melenceng dari nilai yang seharusnya didapatkan. Kesalahan tersebut juga otomatis akan mempengaruhi nilai azimuth dan intensitas cahaya matahari yang didapat oleh alat ukur.

Kekurangan kedua alat ukur masih dihidupkan dan dimatikan secara manual setiap hari. Diharapkan terdapat tambahan untuk on/off secara otomatis, sehingga tidak memerlukan operator untuk menghidupkan dan mematikan alat ukur. Kelemahan ini dapat diatasi dengan menambahkan baterai dan

timer untuk menghidupkan alat ukur ada waktu-waktu yang diinginkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data serta pembahasan terhadap alat ukur sudut datang dan intensitas cahaya matahari real time menggunakan sensor *accelerometer* dan LDR maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji internal desain melibatkan pengujian terhadap karakteristik sensor yang digunakan. Sensor LDR akan bernilai resistansi kecil ketika dikenai cahaya dan bernilai resistansi besar saat kondisi gelap. Perubahan besar resistansi LDR saat dikenai cahaya maka akan terjadi juga perubahan tegangan yang dihasilkan. *Accelerometer* MPU-6050 berisi sebuah *Microelectromechanical Systems* (MEMS) yang saling terintegrasi dapat menangkap nilai sudut X, Y, dan Z bersamaan dalam satu waktu. Kemampuan dari *accelerometer* ini yang digunakan untuk mengukur sudut datang sinar matahari dalam nilai sudut azimuth matahari
2. Hasil uji lapangan awal pada pengukuran tegangan keluaran pada sensor LDR yaitu tegangan keluaran akan naik seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari. Melakukan kalibrasi *accelerometer* dengan membandingkan data yang terukur pada *accelerometer* dan alat standard,
3. Hasil uji lapangan utama yaitu alat ukur mampu mengukur intensitas dan sudut datang cahaya matahari dengan ketepatan 92.83% dan 95%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alias & Hasyim. (2012). *Instructional Technology Research and Development: Lesson from the Field*. Malaysia : IGI Global.
- [2] Pratama, Ridho. 2013. *Pembuatan Sistem Pengukuran Durasi Penyinaran Matahari Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535 Menggunakan Sensor LDR*. Padang : FMIPA UNP.