

Sistem Monitoring Energi Surya Jarak Jauh

Muhammad Sammang*¹, Faisal Mahmuddin¹, Haryanti Rivai¹

¹Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, 92171

*Email: muh.sammang@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.112022.02

Abstrak

Salah satu alat yang dapat digunakan untuk menangkap energi matahari adalah panel surya, pemasangan panel surya kebanyakan masih dalam keadaan *fixed* atau diam. Hal ini menyebabkan penyerapan energi matahari tidak optimal. Dengan demikian dibutuhkan posisi panel surya yang selalu tegak lurus dengan arah datang sinar matahari, untuk itu diperlukan suatu piranti atau sistem otomatis yang dapat menggerakkan panel surya agar selalu tegak lurus dengan arah datang cahaya matahari. Solar tracking system adalah sebuah sistem yang dapat menggerakkan panel surya agar kedudukan panel surya selalu mengikuti arah datang sinar matahari sebagaimana yang telah disetel sedemikian rupa. Dengan menggunakan mikrokontroler Arduino, dimana proses monitoring yang dilakukan berbasis *visual basic* yang dihubungkan dengan *wireless system* berupa *transmitter* dan *receiver*, panel surya dapat digerakkan sesuai sudut datang sinar matahari dengan otomatis. Dengan penggunaan solar tracking system pada panel surya dapat meningkatkan tegangan output rata-rata mencapai 0,895 % dan peningkatan penerimaan intensitas cahaya matahari hingga 29,123 % dibandingkan dengan panel surya *fixed*.

Abstract

Wireless Solar Energy Monitoring System. One of the tools that can be used to capture solar energy is solar panels, the installation of solar panels is mostly still in a fixed or stationary state. This causes the absorption of solar energy is not optimal. Thus, it requires the position of solar panels that are always perpendicular to the direction of incoming sunlight, for this reason a device or automatic system is needed that can move solar panels to always be perpendicular to the direction of incoming sunlight. Solar tracking system is a system that can move the solar panel so that the position of the solar panel always follows the direction of incoming sunlight as it has been set in such a way. By using an Arduino microcontroller, where the monitoring process is based on visual basic which is connected to a wireless system in the form of a transmitter and receiver, the solar panel can be moved according to the angle of incidence of sunlight automatically. With the use of solar tracking system on solar panels can increase the average output voltage to 0.895 % and increase the reception of sunlight intensity up to 29.123 % compared to fixed solar panels.

Kata Kunci: Panel surya, solar tracking, Arduino, Visual Basic, wireless data

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan (EBT) yang sangat kaya, mulai dari pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pembangkit listrik tenaga angin (PLTB), pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTBm), pembangkit listrik tenaga laut dan pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Data dari kementerian energi dan sumber daya mineral (ESDM) menyebutkan potensi EBT mencapai 810 gigawatt (GW) atau 810.000 megawatt (MW). Besarnya potensi pembangkit listrik energi baru dan terbarukan tenaga panas bumi sebesar 28,91 GW, tenaga angin 61,97 GW, tenaga biomassa 32 GW, *ocean thermal energy conversion* (OTEC) 60,98 GW dan tenaga air 75 GW. Kapasitas pembangkit listrik di Indonesia saat ini mencapai 55.000 MW, dari potensi EBT baru

8.780 MW yang dimanfaatkan dan sisanya menggunakan pembangkit listrik energi fosil seperti minyak bumi, gas bumi dan batu bara untuk memenuhi pasokan energi. Energi fosil suatu saat nanti akan habis sehingga pentingnya energi baru terbarukan sebagai energi alternatif sangatlah penting [1].

Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh pemerintah Indonesia karena sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Energi surya sangat luar biasa karena tidak bersifat polutif, tidak dapat habis, dapat dipercaya dan tidak membeli [2]. Ada banyak cara untuk memanfaatkan energi dari matahari. Istilah “tenaga surya” mempunyai arti mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik untuk kegunaan kita. Dua tipe dasar tenaga matahari adalah “sinar matahari” dan “*photovoltaic*” (photo-cahaya,

voltai=tegangan). Photovoltaic tenaga matahari melibatkan pembangkit listrik dari cahaya. Rahasia dari proses ini adalah penggunaan bahan semi konduktor yang dapat disesuaikan untuk melepas elektron, pertikel bermuatan *negative* yang membentuk dasar listrik. Untuk memanfaatkan potensi energi surya tersebut, ada 2 (dua) macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu, teknologi energi surya fotovoltaik dan teknologi energi surya termal [3].

Pembangkit listrik tenaga surya ini kerap diterapkan dalam rumah tangga. Sehingga diharapkan penggunaannya lebih diterapkan lagi pada rumah- rumah maupun gedung-gedung yang konsumsi listriknya lebih banyak guna menghemat pengeluaran biaya, khususnya Universitas Hasanuddin yang mana penggunaan listrik tiap harinya terbilang sangat banyak.

Dalam sistem komunikasi radio peranan antena sangat mempengaruhi kelancaran komunikasi. Fungsi antena tersebut digunakan untuk merubah sinyal listrik ke sinyal elektromagnetik dan meradiasikannya, sehingga dibutuhkan antena pemancar yang sangat direktif agar sistem komunikasi radio ini bekerja pada frekuensi yang telah ditentukan dan tidak melebar. Salah satu frekuensi yang biasa digunakan pada kegiatan komersil adalah frekuensi 433 MHz [4].

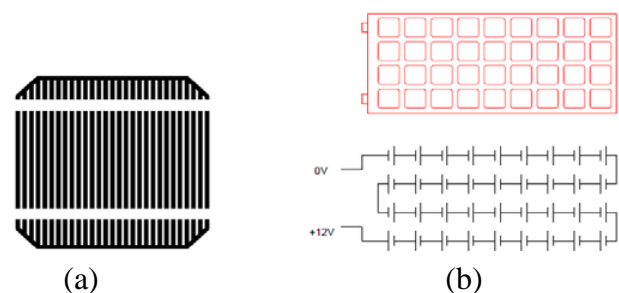
Merujuk pada beberapa pertimbangan tersebut diatas, maka penelitian ini akan merancang sebuah *wireless system (transmitter)* yang dipasang pada *box controller* fungsinya untuk mengirim data yang didapat dari panel surya ke system monitoring (*receiver*). Prinsip kerja dari alat ini adalah mengubah sinyal listrik ke elektromagnetik dan meradiasikannya, kemudian dimonitoring menggunakan *Visual Basic* yang telah terhubung dengan sensor *RF 433MHz*. Oleh karena itu, diharapkan sistem ini memudahkan untuk memonitoring kinerja panel surya secara jarak jauh.

2. Landasan Teori

2.1. Solar Cell

Solar cell merupakan suatu *device* yang mampu menghasilkan listrik dari energi cahaya. Cahaya terdiri dari paket energi yang biasa disebut sebagai *photon*. Pada saat energi *photon* atau cahaya mengenai permukaan *solar cell*, maka *photon* akan mendorong elektron bebas di dalam kristal silikon bergerak keluar melalui

sirkuit eksternal dan kembali lagi melalui sisi lain *solar cell*[5]. *Solar cell* dapat menerima energi cahaya secara terus menerus dalam intensitas tertentu. Berikut merupakan gambaran *solar cell* pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) *Solar cell*, (b) Kumpulan *solar cell* yang di seri [5]

Energi matahari merupakan sumber energi yang paling menjanjikan mengingat sifatnya yang berkelanjutan (*sustainable*) serta jumlahnya yang sangat besar. Matahari merupakan sumber energi yang diharapkan dapat mengatasi permasalahan kebutuhan energi masa depan setelah berbagai sumber energi konvensional berkurang jumlahnya serta tidak ramah terhadap lingkungan. Jumlah energi yang begitu besar yang dihasilkan dari sinar matahari, membuat *solar cell* menjadi alternatif sumber energi masa depan yang sangat menjanjikan. *Solar cell* juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis mengingat tidak membutuhkan transmisi karena dapat dipasang secara modular di setiap lokasi yang membutuhkan. Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu sebagai gelombang dan sebagai partikel yang disebut dengan *photon*. Energi matahari yang dipancarkan mempunyai kecepatan c dan panjang gelombang λ [5].

2.2. Solar Tracker

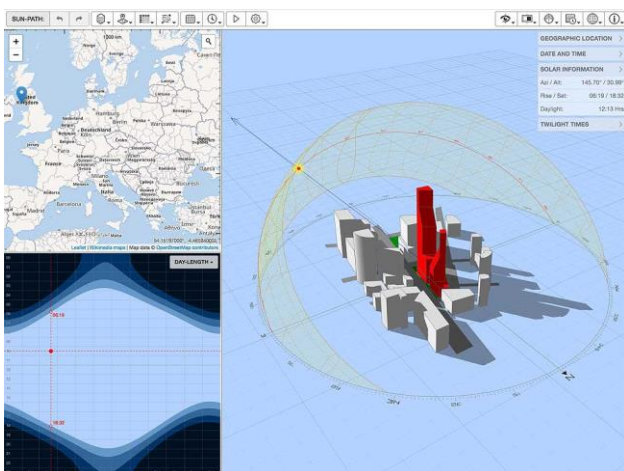
Solar tracker adalah gabungan suatu sistem yang mampu mengikuti arah matahari setelah disetel agar dapat memaksimalkan penerimaan dari energi cahaya. *Solar tracker* ini akan diterapkan pada *photovoltaic* atau panel surya. Tujuan tracking pada photovoltaic adalah agar dapat mengoptimalkan daya keluaran dari PV. Semakin tegak lurus PV dengan matahari, maka semakin besar pula daya *output* yang dihasilkan. Hal ini tentunya sangat berpengaruh pada jumlah energi listrik yang dihasilkan dalam setiap hari.

Energi listrik yang dihasilkan akan meningkat jika dibandingkan dengan panel surya yang bersifat statis. *Solar tracker* terdiri dari beberapa komponen penting seperti sensor, *controller*, motor servo, *battery* dan *photovoltaic*. Penelitian tentang *solar tracker* yang berkembang selama ini, dapat menggunakan berbagai jenis control agar tracking berjalan optimal. Namun dikarenakan adanya sistem *tracker* akan menjadi tantangan untuk para peneliti untuk mengembangkannya. Hal ini karena diperlukan catu daya yang cukup besar untuk dapat mengoperasikan motor penggerak.

Keluaran dari panel surya menghasilkan arus listrik searah (DC). Padahal pada umumnya sebagian besar peralatan elektronik memerlukan input arus AC. Dikarenakan hal tersebut, maka diperlukan sebuah alat tambahan berupa *inverter* DC ke AC. *Inverter* tersebut diletakkan setelah *battery*. Jadi disimpan dalam *battery* atau *accu* DC, kemudian setelah disimpan arus listrik dirubah dari DC menjadi AC oleh rangkaian *inverter*. Arus bolak balik (AC) inilah yang akan digunakan untuk kebutuhan sehari-hari [6].

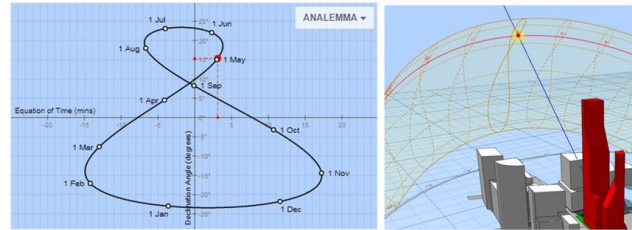
2.3. Sun Path

Sun Path adalah alat visualisasi yang penting yang dapat digunakan untuk memodelkan dan menampilkan jalur matahari saat bergerak di langit, Seperti yang diamati dari geografis lokasi tertentu yang ada di permukaan bumi. Diagram ini menggunakan rangka astronomi untuk memberikan representasi dua atau tiga dimensi dari lintasan pergerakan matahari di langit seperti yang diamati pada lokasi tertentu [7].



Gambar 2. Sun path [8]

Analemma posisi matahari selalu berubah tiap hari dan bulannya, Gambar 2 menjelaskan posisi matahari dalam garis Azimuth (garis sudut azimuth yaitu garis dari arah timur ke barat) dan garis ketinggian (garis tilt direpresentasikan dengan garis melingkar yang membentang dari tengah diagram).



Gambar 3. Analemma posisi matahari [9]

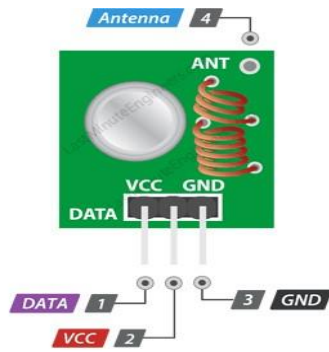
Singkatnya, analemma dan persamaan waktu adalah hasil dari jumlah efek orbit elips bumi mengelilingi matahari dan kemiringan sumbu bumi dalam hal ini hubungannya dengan bidang orbitnya mengelilingi matahari, seperti yang terlihat pada Gambar 3.

2.4. Transmitter dan Receiver 433 MHz

Transmitter merupakan sebuah perangkat untuk mengirim sinyal ke receiver, dimana outputnya berupa data dalam bentuk sinyal RF yang bernilai sama dengan data – data yang diinputkan pada transmitter yang dicampur dengan sinyal. Sinyal transmitter adalah suatu tanda ataupun sinyal yang diberikan ke alat penerima seperti pencatat, penunjuk yang berupa skala angka – angka.

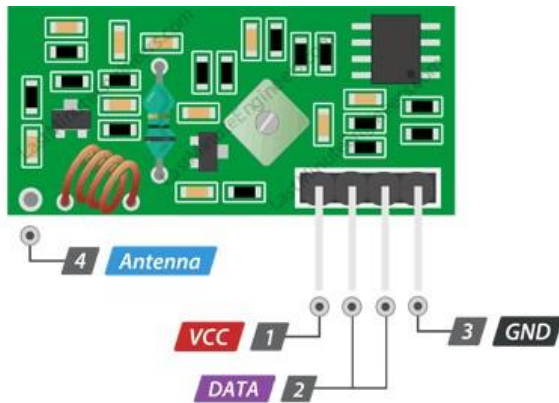
Receiver merupakan sebuah perangkat untuk menangkap sinyal dari transmitter, dimana outputnya berupa data yang bernilai sama dengan data – data yang dipancarkan oleh transmitter.

Terdapat 2 komponen yaitu transmitter modul (Gambar 4) dan receiver modul (Gambar 5) yang menggunakan modulasi ASK. Amplitudo-shift keying (ASK) merupakan bentuk modulasi amplitudo yang mewakili data digital sebagai variasi amplitudo gelombang pembawa. Dalam sebuah sistem ASK, simbol biner 1 diwakili oleh transmisi tetap amplitudo gelombang pembawa dan frekuensi tetap untuk durasi sedikit T detik. Jika nilai sinyal 1 maka sinyal pembawa akan dikirimkan; sebaliknya, nilai sinyal 0 akan dikirim [10].



Gambar 4. Pin out transmitter

- Data : Pin digital yang akan dikirim.
- V : Suplai tegangan untuk transmitter. Tegangan antara 3,5V hingga 12V. Semakin besar tegangan maka jangkauannya semakin jauh.
- GND : Pin ground.
- Antena : Pin untuk antenna luar.



Gambar 5. Pin out receiver

- VCC : Suplai tegangan untuk receiver. Tegangan untuk penerima adalah 5V.
- Data : Pin digital yang akan diterima. Dua pin digabung menjadi satu.
- GND : Pin Ground.
- Antena : Pin untuk antenna luar.

Rumus peningkatan lux dan intensitas cahaya.

$$\frac{\text{Peningkatan Lux} = \text{Intensitas Solar Tracker} - \text{Intensitas Solar Fixed}}{\text{Intensitas Solar Fixed}} \times 100\% \dots\dots 1$$

$$\frac{\text{Peningkatan Tegangan} = \text{Tegangan Solar Tracker} - \text{Tegangan Solar Fixed}}{\text{Tegangan Solar Fixed}} \times 100\% \dots\dots 2$$

2.5. Linear Aktuator Parabola

Aktuator parabola yang dipakai adalah aktuator menggunakan merk Matrix HARL-3618, Aktuator ini adalah aktuator yang mudah

didapatkan di pasaran lantaran struktur yang sederhana dan dengan harga yang terjangkau pula.

Secara sederhana, Aktuator adalah sebuah motor DC yang terhubung menggunakan sebuah poros. Poros ini memungkinkan gerakan aktuator yang mendorong juga menarik. Konstruksinya kokoh dan efisiensi motor DC yang baik [11]. Seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Linear aktuator parabola

Tabel 1. Spesifikasi linear aktuator

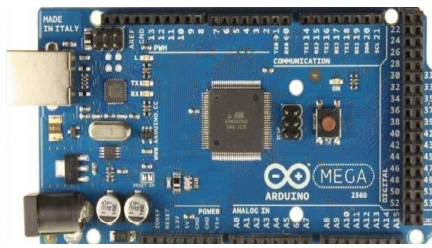
Spesifikasi	Keterangan
Merk	Matrix
Type	Harl-3618+
Vin	12V - 36V
Panjang Tuas	18 Inch

2.6. Arduino

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat open-source, diturunkan dari wiring platform, dirancang dan dibuat untuk memudahkan penggunaan peralatan elektronik dalam berbagai bidang. Perlu dipahami bahwa kata “platform” di atas berarti Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi arduino merupakan kombinasi dari sebuah hardware, bahasa pemrograman dan Integrated Development Environment (IDE) yang canggih. IDE adalah software yang sangat berperan dan berguna untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner dan meng-upload ke dalam *memory mikrokontroler* [12].

Hardware Arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan softwarena memiliki bahasa

pemrograman sendiri. Didalam arduino terdapat analog input dan digital input *output*. Dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Arduino Mega 2560

Kelebihan modul Arduino antara lain:

- a. Mudah digunakan, cocok sekali untuk pemula.
- b. Fungsi Library (code program tinggal pakai) untuk mengakses hardware sangat banyak. Hardware hardware tsb antara lain bluetooth, berbagai macam sensor, GSM board, GPS, dan lain-lain.
- c. Tidak memerlukan downloader.

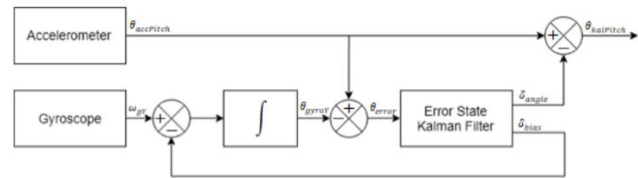
2.7. Metode Kalman Filter

Kalman Filter (KF) adalah suatu metode estimasi variabel keadaan dari sistem dinamik stokastik linear diskrit yang meminimumkan kovariansi error estimasi. Metode KF pertama kali diperkenalkan oleh Rudolph E. Kalman pada tahun 1960 lewat papernya yang terkenal tentang suatu penyelesaian rekursif pada masalah filtering data diskrit yang linear [13]. KF merupakan suatu pendekatan teknis untuk menaksir fungsi parameter dalam peramalan deret berkala. Keunggulan metode KF adalah kemampuannya dalam mengestimasi suatu keadaan berdasarkan data yang minim. Data minim yang dimaksud adalah data pengukuran (alat ukur) karena KF adalah suatu metode yang menggabungkan model dan pengukuran. Data pengukuran terbaru menjadi bagian penting dari algoritma KF karena data mutakhir akan berguna untuk mengoreksi hasil prediksi, sehingga hasil estimasinya mendekati kondisi yang sebenarnya [14].

Kalman Filter dapat menghilangkan noise dari suatu sinyal yang mengandung informasi dan mengambil informasi tersebut untuk diproses lebih lanjut. Suatu proses yang menggunakan Kalman Filter untuk memfilter noise harus dapat disajikan dalam dua persamaan, yaitu persamaan state dan persamaan keluaran. Masing-masing persamaan mempunyai noise dan saling bebas,

sehingga tidak ada korelasi saling antara kedua noise. Hasil perhitungan optimal yang digunakan untuk mendapatkan nilai estimasi pada Kalman Filter.

Berikut merupakan blok diagram Kalman Filter pada Gambar 8.

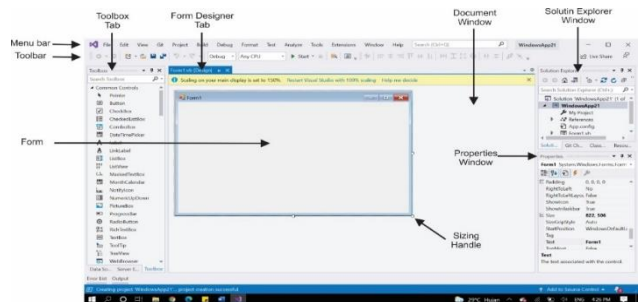


Gambar 8. Blok diagram Kalman filter update [15]

2.8. Visual Basic

Visual basic merupakan suatu bahasa pemrograman yang dikembangkan dari bahasa pemrograman *BASIC (Beginners All-Purposes Symbolic Instruction Code)*. Perbedaan antara *Visual basic* dan bahasa *BASIC* adalah pemrograman *BASIC* masih berorientasi pada text dan program dijalankan secara berurutan. Untuk itu bahasa *BASIC* disebut sebagai Interpreter. Sedangkan dalam *Visual basic* dengan lingkungan grafiknya, pemrograman berorientasi obyek dan sudah merupakan *compiler*. Karena alasan inilah, banyak programmer baik yang sudah mahir maupun yang baru belajar pemrograman lebih senang menggunakannya.

Kelebihan lain *Visual basic* adalah kemampuannya untuk mengkompilasi program bentuk *Native Code*, yaitu optimasi pada saat prosesor mengkompilasi dan menjalankan program tersebut. Keuntungan yang didapat dari *Native Code* adalah kecepatannya dalam mengakses program, dimana hal ini hanya dapat ditemui pada aplikasi-aplikasi yang dikompilasi dengan bahasa pemrograman C++ [16].



Gambar 9. Jendela Visual basic 2019

Dalam segi komunikasi, terdapat dua cara yang disediakan *Visual Basic*. Komunikasi dapat

dilakukan dengan menggunakan fitur langsung yang diberikan oleh *Visual basic* (MSComm 6.0) dan juga dapat dilakukan dengan *USART* (menggunakan *IC USART*).

Gambar 9 memberikan gambaran mengenai jendela *Visual basic* 2019. Tampilan di atas akan ditemui ketika bekerja menggunakan *Visual basic* 2019 [16].

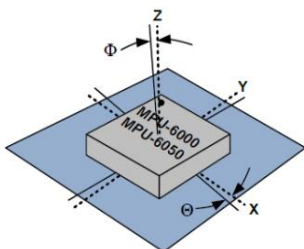
2.9. Gyroscope MPU-6050

MPU 6050 adalah chip IC inverse yang didalamnya terdapat sensor *Accelerometer* dan *Gyroscope* yang sudah terintegrasi. Kemampuan sensor ini dapat dikatakan akurat karena terdapat hardware yang bekerja untuk mengkonversi data analog ke digital yang memiliki resolusi 16-bit pada masing-masing chanelnya. Sehingga modul ini mampu untuk membaca data dari chanel X, Y, dan Z secara bersamaan dalam 1 waktu.

Gambar 10 adalah MPU-6050 Module adalah sebuah 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 dipakai dengan tegangan supply sebesar 3-5 VDC. Modul ini memiliki interface I2C yang dapat disambungkan langsung ke MCU yang memiliki fasilitas I2C.



Gambar 10. MPU-6050



Gambar 11. Sumbu pada sensor MPU-6050 [17]

Sensor MPU-6050 berisi sebuah MEMS *Accelerometer* dan sebuah MEMS Gyro yang saling terintegrasi. Sensor ini sangat akurat dengan fasilitas hardware internal 16 bit ADC untuk setiap kanalnya. Sensor ini akan menangkap nilai kanal axis X, Y dan Z bersamaan dalam satu waktu.

Berikut spesifikasi modul dari Gambar 11 :

- Berbasis Chip MPU-6050
- Supply tegangan berkisar 3-5V
- *Gyroscope* range + 250 500 1000 2000°/s
- Acceleration range: $\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16$ g
- Communication standard I2C Chip built-in 16 bit AD converter, 16 bits data output
- Jarak antar pin header 2.54 mm
- Dimensi modul 20.3 mm x 15.6mm

Sensor *Gyroscope* MPU6050 adalah perangkat untuk mengukur atau mempertahankan orientasi, dengan memiliki prinsip ketetapan momentum sudut. Mekanismenya adalah sebuah roda berputar dengan piringan di dalamnya yang tetap stabil.

Inertial Measurement Unit (IMU) merupakan alat yang memanfaatkan sistem pengukuran seperti gyroskop dan akselerometer untuk memperkirakan posisi relatif, kecepatan, dan akselerasi dari gerakan motor. IMU adalah bagian dari navigasi system yang dikenal sebagai Inertial Navigation System atau INS. GY-521 adalah sebuah modul Inertial Measurement Unit (IMU) yang menggunakan chip MPU-6050 dari InvenSense. MPU-6050 sendiri adalah chip dengan 3-axis *Accelerometer* (sensor percepatan) dan 3-axis *Gyroscope* (pengatur keseimbangan), atau dengan kata lain 6 degrees of freedom (DOF) IMU.

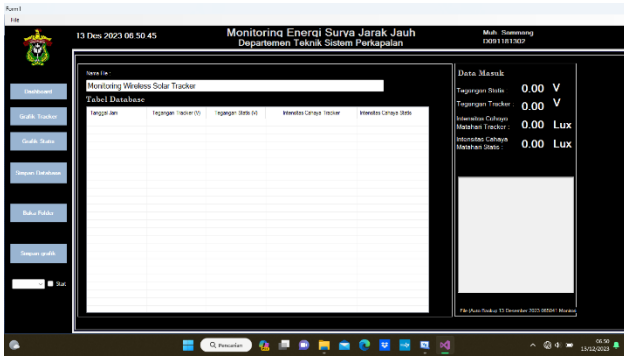
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pembuatan Program pada *Visual Basic*

Langkah pertama yang dilakukan dalam pembuatan program menggunakan *Visual Basic* 2019 yaitu membuka program *Visual Basic* 2019, kemudian memilih *New Project*, setelah *New Project* terbuka maka kita memilih *Windows Forms Application*. Maka kita sudah bisa memulai membuat desain tampilan program di form window yang sesuai dengan yang kita inginkan.

Bagian dari program *Visual Basic* memberikan tampilan profil untuk memperlihatkan tampilan utama program. Dapat kita lihat tampilan profil pada Gambar 12.

Dalam kondisi tertentu anda menginginkan untuk membuat paragraf dari manuskrip anda, tolong buat dengan menggunakan model paragraf yang telah ditentukan dari menu drop-down kategori-kategori model yang tersedia.



Gambar 12. Tampilan utama program

3.2. Pengujian Intensitas Cahaya Matahari

Sensor yang dipakai pada pengujian ini adalah sensor BH1750. Sensor BH1750 bekerja berdasarkan besarnya cahaya yang masuk. Semakin banyak cahaya yang masuk, maka semakin besar nilai intensitas yang dihasilkan. Berikut merupakan hasil intensitas cahaya yang dipakai dalam *solar tracker* dengan sudut yang telah ditentukan berdasarkan aplikasi *Sun Path* yang menghasilkan nilai intensitas cahaya yang lebih besar dibandingkan pada panel surya fixed.

Tabel 2. Hasil pengujian intensitas cahaya matahari

waktu	sudut tracker (°)	intensitas cahaya tracker (lux)	intensitas cahaya statis (lux)	persentase peningkatan intensitas cahaya (%)
8:15	-57.18	77550	38480	101.533
8:30	-52.68	82211.67	40468.33	102.362
8:45	-48.18	85205	41101.66	104.054
9:00	-43.68	97730	51733.33	99.494
9:15	-39.18	100910	53421.66	96.979
9:30	-35.68	102553.33	60638.33	91.07
9:45	-31.18	106243.33	79621.67	78.513
10:00	-27.68	107310	81390	70.013
10:15	-23.18	108256.67	87576.67	62.410
10:30	-19.68	109225	91163.33	56.202
10:45	-15.18	109225	94553.33	50.861
11:00	-11.68	109225	108768.33	44.242
11:15	-4.18	109225	109225	39.091
11:30	-0.68	99661.67	96003.33	35.816
11:45	1.18	93550	80963.33	34.344
12:00	3.68	86698.33	73868.33	33.289
12:15	5.18	94655	79640	32.383
12:30	8.82	100773.33	84910	31.524
12:45	11.32	101800	85575	30.777
13:00	13.82	109225	92151.67	30.039
13:15	16.32	109225	95455	29.123
rata-rata		100021.825	77462.3	29.123

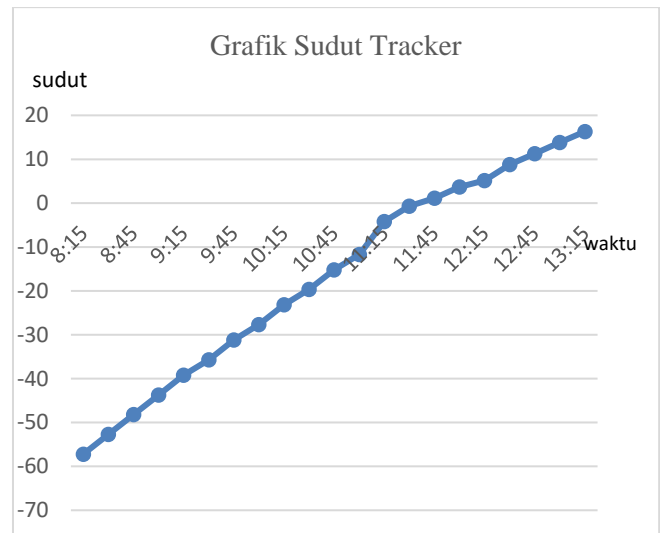
Dari Tabel 2 dapat dilihat nilai intensitas cahaya. Pada *solar tracker*, intensitas cahaya matahari tertinggi yang diterima adalah 109,225 lux pada pukul 11:00 WITA dengan rata-rata intensitas yang diterima sebesar 100,021.825 lux. Sedangkan pada panel surya *fixed* intensitas cahaya matahari tertinggi mencapai 109,225 lux pada pukul 11:15 WITA dengan rata-rata intensitas cahaya yang diterima sebesar 77,462.3 lux. Sehingga dapat dihitung peningkatan rata-rata nilai intensitas cahaya yang diterima sebesar 29.123 % dengan perhitungan sebagai berikut.

Peningkatan Lux

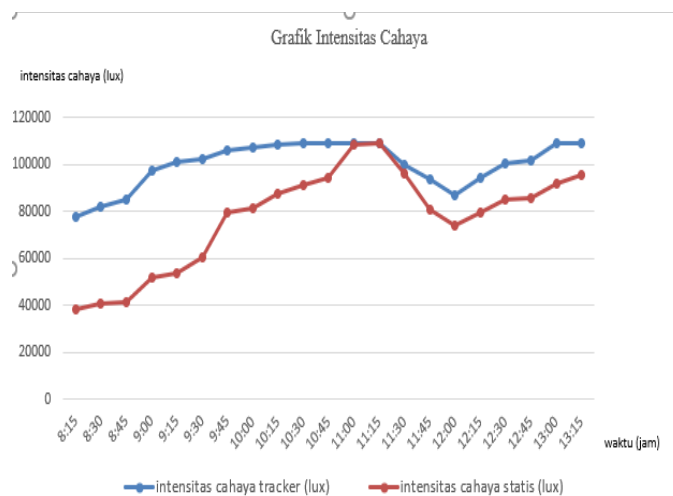
$$= \frac{\text{Intensitas Solar Tracker} - \text{Intensitas Solar Fixed}}{\text{Intensitas Solar Fixed}} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Lux} = \frac{100,021.825 - 77,462.3}{77,462.3} \times 100\%$$

Peningkatan Lux = 29.123 %



Gambar 13 . Perubahan sudut tracker



Gambar 14. Perbandingan intensitas cahaya matahari

Pada Gambar 13 dan 14 dapat dilihat nilai intensitas cahaya matahari pada kedua panel mengalami perubahan nilai sepanjang waktu dikarenakan kondisi intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah yang disebabkan oleh posisi matahari yang terhalangi oleh awan pada waktu tertentu. Dan dapat dilihat juga adanya perbedaan peningkatan nilai intensitas cahaya pada Gambar 14 dipengaruhi oleh sensor cahaya yang menerima nilai intensitas cahaya yang terpasang pada panel surya *tracker* selalu mengikuti arah pergerakan matahari yang telah distel setiap 15 menit, sedangkan pada panel surya *fixed* tidak mengalami perubahan.

3.3. Pengujian Tegangan Panel Surya

Salah satu pengambilan data tugas akhir ini dilakukan dengan mengukur tegangan *output* dari *solar tracking* dan *solar fixed*. Pada saat pengukuran *output* tegangan, sumbu putar yang digunakan pada panel surya adalah sumbu putar secara roll. Sumbu tersebut bekerja sesuai arah pergerakan matahari berdasarkan perhitungan vektor posisi matahari yang telah dibuat. Dua panel surya yang digunakan memiliki spesifikasi yang sama. Yaitu merk GreenTek 100 Wp.

Pengambilan data dilakukan mulai jam 08:15 – 13:15 WITA, data diambil setiap 15 menit sesuai dengan pergerakan panel surya. Tegangan yang dihasilkan secara keseluruhan kurang lebih berkisar antara 19-22 V. Tabel 3 adalah data keluaran tegangan hasil pengukuran.

Tabel 3. Hasil pengujian tegangan panel surya

waktu	tegangan tracker (V)	tegangan statis (V)	Peningkatan tegangan (%)
8:15	19.75	19.56	0.19
8:30	20.51	20.44	0.26
8:45	20.93	20.85	0.34
9:00	21.05	20.88	0.51
9:15	21.25	21.09	0.67
9:30	21.27	21.11	0.83
9:45	21.68	21.45	1.06
10:00	21.74	21.6	1.2
10:15	21.79	21.59	1.4
10:30	21.88	21.67	1.61
10:45	21.96	21.68	1.89
11:00	21.97	21.96	1.9
11:15	22	21.97	1.93
11:30	21.58	21.05	2.46
11:45	21.36	20.94	2.88
12:00	20.19	20.01	3.06
12:15	20.8	20.62	3.24
12:30	20.89	20.62	3.51
12:45	21.77	21.59	3.69
13:00	22.06	21.91	3.84
13:15	22.07	21.93	3.98
rata-rata	21.357	21.168	0.895

Berdasarkan Tabel 3 yang menunjukkan data tegangan dari *solar tracker*. Tegangan yang diterima *solar tracker* paling besar terjadi beberapa kali salah satunya pada pukul 13:15 WITA, tegangan *output* yang dihasilkan adalah sebesar 22.07 Volt.

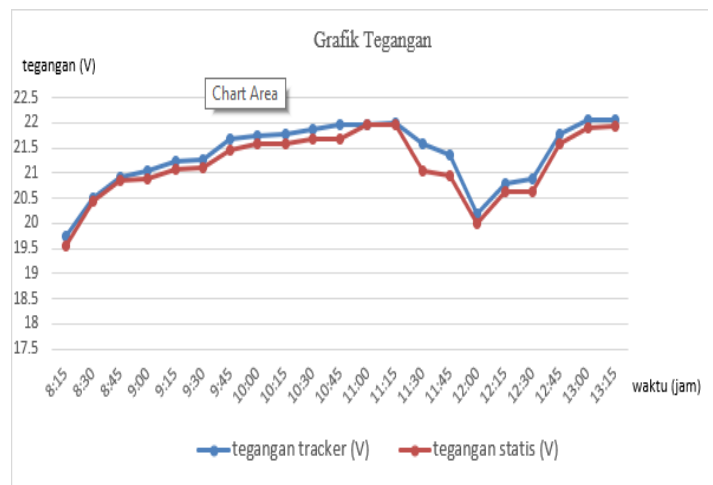
Pada *solar fixed*, didapatkan tegangan terbesar terjadi pada pukul 11:15 WITA, tegangan *output* yang dihasilkan sebesar 21.97 Volt. Tegangan minimum kedua panel surya terjadi pada pukul 8:15 WITA, dikarenakan cuaca sudah mulai gerimis, nilai minimum *solar tracker* adalah sebesar 19.75 Volt, sedangkan *solar fixed* sebesar 19.56 Volt. Sehingga dapat dihitung peningkatan rata-rata nilai tegangan *output* yang diterima sebesar 0.895 % dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Peningkatan Tegangan} = \frac{\text{Tegangan Solar Tracker} - \text{Tegangan Solar Fixed}}{\text{Tegangan Solar Fixed}} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Tegangan} = \frac{21.357 - 21.168}{21.168} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Tegangan} = 0.895\%$$

Pada Tabel 3 dapat dilihat juga penurunan nilai tegangan yang terjadi disetiap perpindahan waktu tertentu pada kedua panel surya disebabkan perbedaan nilai intensitas cahaya matahari yang diterima kedua panel surya tersebut yang mengalami kondisi naik turun selama proses pengambilan data.



Gambar 15. Perbandingan tegangan panel surya

Berdasarkan Gambar 15 dapat dilihat perubahan perbedaan nilai tegangan dari *solar tracker* dan *fixed*. Panel surya *tracker* selalu mempunyai *output* tegangan yang lebih besar daripada *solar fixed*, peningkatan nilai tegangan

pada panel surya *tracker* disebabkan oleh panel tersebut selalu mengikuti arah pergerakan matahari sepanjang waktu yang telah disetel setiap 15 menit, sedangkan panel surya *fixed* tidak mengalami pergerakan. Dan grafik yang mengalami naik turun tersebut pada gambar 15 dikarenakan posisi matahari pada saat pengambilan data di waktu tertentu terhalangi oleh awan sehingga membuat nilai intensitas cahaya matahari mengalami perbedaan pada setiap waktu, yang menyebabkan tegangan *output* kedua panel tersebut berbanding lurus dengan nilai intensitas cahaya matahari yang diterima kedua panel.

4. Kesimpulan

Berdasarkan rancang bangun dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

- Perancangan sistem monitoring dari Visual Basic 2019 yang menggunakan wireless system berhasil meningkatkan nilai tegangan output dari panel surya.
- Tegangan *output* yang diterima *solar tracker* terbesar terjadi pada pukul 11:00 WITA, sebesar 22.07 Volt. Pada *solar fixed* tegangan *output* terbesar terjadi pada pukul 11:15 WITA, sebesar 21.97 Volt.
- Tegangan minimum kedua panel surya terjadi pada pukul 8:15 WITA, nilai minimum *solar tracker* adalah sebesar 19.75 Volt, sedangkan *solar fixed* sebesar 19.56 Volt.
- Dengan nilai peningkatan rata-rata tegangan antara *tracker* dan *fixed* adalah 0.895 %.
- Secara keseluruhan, *output* tegangan yang dihasilkan dari *solar tracker* lebih besar daripada *solar fixed*. Dan nilai intensitas cahaya matahari rata-rata secara *tracker* yaitu 100,021.825 lux dan *fixed* 77,462.3 lux, dengan rata-rata peningkatan nilai intensitas cahaya yang diterima sebesar 29.123 %.

Referensi

- [1] H. S. R. Wirnatama, "Kajian Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bendung Sapon," Universitas Atma Jaya Yogyakarta, 2017.
- [2] S. Simatupang, "Rancang Bangun dan Uji Coba Solar Tracker pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler ATmega16," *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 1, pp. 55–59, 2013.
- [3] G. Widayana, "Pemanfaatan Energi Surya," *J. Pendidik. Teknol. dan Kejuru.*, vol. 9, pp. 37–46, 2012.
- [4] D. Wirawan, "Analisa Pengaruh Besar Sudut dan Jarak Titik Fokus Reflektor Corner pada Antena Helix Mode Axial Untuk Sistem Komunikasi Radio 433 Mhz," Universitas Jember, 2018.
- [5] J. A. Nelson, *The Physics of Solar Cells*. World Scientific Publishing Company, 2003.
- [6] A. Muhammad and I. Abadi, "Rancang Bangun Sistem Penjejak Matahari 2 Sumbu Berbasis Kontrol Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)," *J. Sains dan Seni POMITS*, vol. 1, pp. 1–6, 2012.
- [7] G. Prinsloo and R. Dobson, *Solar Tracking: Sun Position, Sun Tracking, Sun Following*. Stellenbosch: Stellenbosch University, 2015.
- [8] A. Mash, "PD: 3D Sun-Path." [Online]. Available: <https://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>
- [9] M. S. Devetaković, Đ. D. Đorđević, G. D. Đukanović, A. D. K. Furundžić, B. S. Sudimac, and A. Scognamiglio, "Design of Solar Systems for Buildings and Use of BIM tools: Overview of Relevant Geometric aspects," *FME Trans.*, vol. 47, pp. 387–397, 2019.
- [10] F. Setyawan, A. A. Fikri, A. N. Fuad, R. Rohim, and R. Firmansyah, "Telemetri Flowmeter Menggunakan RF Modul 433MHz Berbasis Arduino," *JEEE-U J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, pp. 8–14, 2017.
- [11] Syafarudin, R. Fauzan, A. S. Amir, and H. Miyauchi, "Microcontroller ATmega8535 Based Solar Tracker Design for PV System Applications in Equator Region," *Int. J. Control Autom.*, vol. 7, pp. 217–234, 2014.
- [12] F. Djuandi, *Pengenalan Arduino*. Jakarta: Elexmedia, 2011.
- [13] G. Welch and G. Bishop, "An Introduction to The Kalman Filter," Chapel Hill, 2006.
- [14] A. Masduqi and E. Apriliani, "Estimation of Surabaya River Water Quality Using Kalman Filter Algorithm," *IPTEK J. Sci. Technol.*, vol. 9, pp. 87–91, 2008.
- [15] F. Saepuloh, "Implementasi Kontroler Self – Tuning PID dan Kalman Filter pada Sistem Keseimbangan Robot Beroda Dua," Universitas Brawijaya, 2019.
- [16] D. I. Schneider, *An Introduction to Programming Using Visual Basic*. Pearson Education, 2017.
- [17] Diode, "MPU6050 – MotionTracking devices – InvenSense." [Online]. Available: <http://www.datasheetgo.com/mpu6050-invensense>