

**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING* ARUS DAN TEGANGAN
SOLAR CELL BERBASIS KOMUNIKASI LoRa SX1278**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Reynald Darmawan

NIM. 145060300111016

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING* ARUS DAN TEGANGAN *SOLAR*
CELL BERBASIS KOMUNIKASI LoRa SX1278**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Reynald Darmawan
NIM. 145060300111016

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 27 Juli 2018

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM
NIP. 19730520 200801 1 013

Dosen Pembimbing



Raden Arief Setyawan, S.T., M.T.
NIP. 19750819 199903 1 001

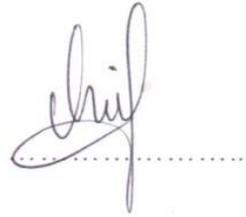


JUDUL SKRIPSI:

RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING* ARUS DAN TEGANGAN *SOLAR CELL*
BERBASIS KOMUNIKASI LoRa SX1278

Nama Mahasiswa : Reynald Darmawan
 NIM : 145060300111016
 Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
 Konsentrasi : TEKNIK ELEKTRONIKA

Dosen Pembimbing : Raden Arief Setyawan, S.T., M.T



Tim Dosen Penguji :



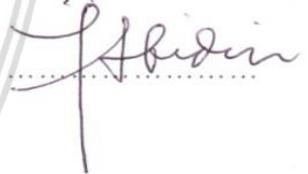
Dosen Penguji 1 : Dr. Ing. Onny Setyawati, S.T., M.T., M.Sc

.....

Dosen Penguji 2 : Adharul Muttaqin, S.T., M.T

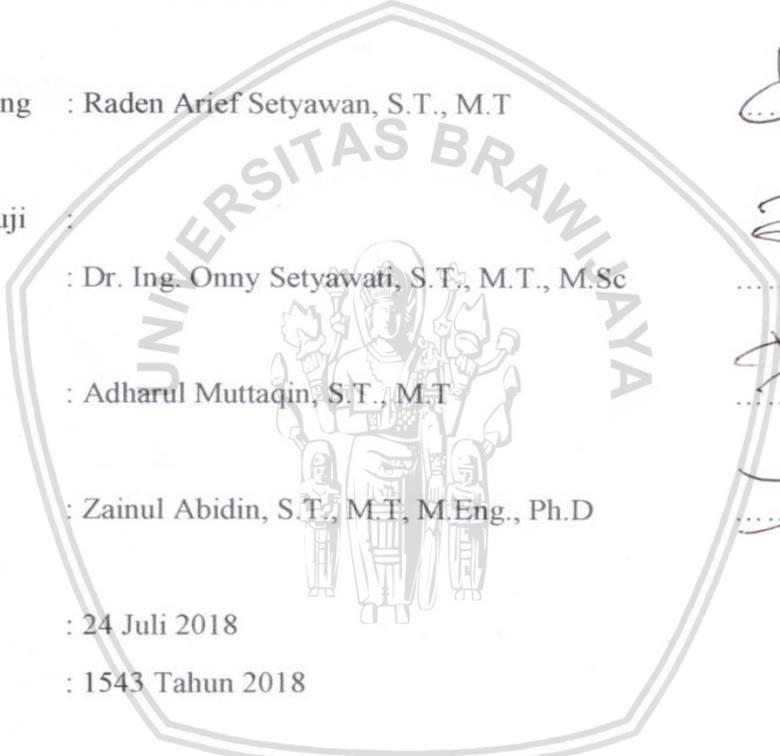


Dosen Penguji 3 : Zainul Abidin, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D



Tanggal Ujian : 24 Juli 2018

SK Penguji : 1543 Tahun 2018





*Sedikit karya tulis ini kutujukan
untuk Papa, Mama, serta Kakak
dan Adik*

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi ini dapat dibuktikan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 27 Juli 2018

Mahasiswa,



REYNALD DARMAWAN

NIM. 145060300111016



RINGKASAN

Reynald Darmawan, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Arus Dan Tegangan *Solar Cell* Berbasis Komunikasi LoRa SX1278: Raden Arief Setyawan.

Indonesia merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa, sehingga sinar matahari secara optimal dapat diterima hampir di seluruh wilayah Indonesia sepanjang tahun. Hal ini perlu dimanfaatkan dengan penggunaan *solar cell* yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung.

Pada perancangan ini, dirancang sebuah sistem yang mampu me-*monitoring* arus dan tegangan berbasis *solar cell* berbasis komunikasi LoRa SX1278. Pengukuran kinerja *solar cell* menggunakan Sensor Arus ACS712-5A, sensor tegangan dan LoRa SX1278 sebagai media *monitoring* khususnya arus dan tegangan kerja *solar cell* menggunakan Arduino Uno. LoRa SX1278 merupakan salah satu jenis komunikasi *wireless* berbasis radio frekuensi yang pemanfaatannya belum banyak digunakan di Indonesia. LoRa SX1278 memiliki 2 node, yaitu *node transmitter* dan *node receiver*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat yang dibangun mampu membaca keluaran sensor arus linier dengan *error* sebesar 5,5644%, sensor tegangan arduino linier dengan *error* sebesar 1,583%. Pada pengujian LoRa SX1278 dapat dilakukan pengiriman data 0-300 m. Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan, didapatkan rata-rata arus sebesar 0,17 A, rata-rata tegangan sebesar 16,91 V, rata-rata daya sebesar 2,875 W. Data yang dikirim oleh LoRa SX1278 bagian *transmitter* berhasil terkirim dan diterima oleh LoRa SX1278 bagian *receiver*.

Kata Kunci: Sinar Matahari, Sel Surya, *Monitoring*, Arduino, Radio Frekuensi, LoRa SX1278, *Node Transmitter*, *Node Receiver*

SUMMARY

Reynald Darmawan, Department of Electrical Engineering of University of Brawijaya, Built-In Tool Monitoring System Current And Voltage of Solar Cell Based LoRa SX1278 Communication. Raden Arief Setyawan.

Indonesia is a country that located on the equator, so sunlight is optimally acceptable in almost all parts of Indonesia throughout the year. This needs to be use with solar cell which can change sunlight into electric power directly.

On this design, the system is capable of monitoring current and voltage based solar cell based communication LoRa SX1278. Measurement of solar cell performance using ACS712-5A Current Sensor, voltage sensor and LoRa SX1278 as monitoring media especially current and working voltage of solar cell using Arduino Uno. LoRa SX1278 is one type of wireless communication based on frequency radio which utilization has not been widely used in Indonesia. LoRa SX1278 has 2 nodes, namely transmitter node and receiver node.

The test results show that the built tool is able to read linear current sensor output with error of 5.5644%, linear arduino voltage sensor with error of 1,583%. In testing LoRa SX1278 can be done data transmission 0-300 m. Based on the results of the overall test, the average current obtained by 0.17 A, the average voltage of 16.91 V, the average power of 2.875 W. Data sent by the transmitter of LoRa SX1278 successfully sent and received by the receiver of LoRa SX1278.

Keywords: Sunlight, Solar Cell, Monitoring, Arduino, Radio Frequency, LoRa SX1278, Node Transmitter, Node Receiver

RIWAYAT HIDUP

Reynald Darmawan, Jakarta 19 Desember 1996 anak dari ayah Robert MT Sianturi dan Ibu Indah Yulia, SD sampai SMA di Kota Bekasi, lulus SMA tahun 2014, lulus program sarjana teknik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2018. Pengalaman kerja sebagai staff riset di Divisi Otomasi Workshop HME FT-UB tahun 2015 hingga 2017, lalu dilanjutkan sebagai Ketua Divisi tahun 2017 hingga 2018, serta menjadi anggota Pengurus Inti Workshop HME FT-UB tahun 2017 hingga 2018. Pencapaian Finalis Lomba Nasional Programmable Logic Controller (PLC) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, April 2016 dan Juara 3 Lomba Nasional Programmable Logic Controller (PLC) di Politeknik Negeri Jakarta, April 2017.

Malang, Juli 2018

Penulis



PENGANTAR

Alhamdulillah rabbi ‘aalamiin, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala pertolongan dan perlindungan-Nya skripsi berjudul “Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Arus Dan Tegangan *Solar Cell* Berbasis Komunikasi LoRa SX1278” dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan rasa terima kasih dan apresiasi sebesar-besarnya atas bantuan dalam penyelesaian skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Papa Robert MT Sianturi dan Mama Indah Yulia atas segala do’a, pengorbanan, inspirasi, nasihat, kasih sayang, perhatian dan kesabarannya dalam membesarkan dan mendidik penulis. Kakak dan adik penulis, Riefki Rinaldi, Ryan Kurniawan, Revy Pramana atas segala dukungan, semangat, dan motivasi, serta seluruh Keluarga Besar Papa dan Mama atas doa, nasihat, dan motivasi hingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Yang Terhormat Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Yang Terhormat Ibu Ir. Nurussa’adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ali Mustofa S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Bapak Raden Arief Setyawan S.T., M.T., selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Dosen Penasehat Akademik, serta Dosen Pembimbing Skripsi atas segala bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik yang telah diberikan kepada penulis selama perkuliahan dan pengerjaan skripsi.
6. Seluruh dosen pengajar, *staff* Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
7. Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
8. Keluarga Besar angkatan DIODA 2014 atas segala bantuan, waktu dan momen kebersamaan selama menjalankan studi.
9. Keluarga Besar Konsentrasi Teknik Elektronika Universitas Brawijaya.
10. Keluarga Besar Divisi Otomasi, Mas Rozi, Mas Dimas, Mas Naufal, Mas Andri, Mas



Dennis, Mas Victor, Mas Ikhfal, Mas Rifan, Mas Fauzan, Mas Zaini, Mas Mukti, Mas Kevin, Mas Wicak, Mbak Diana, Mbak Keiko, Oliv, Yeilla, Egi, Anwi, Tony, Karil, Yusril, Dhani, Indra, Ghozal, Izzul, Angga, Ardi, Jet-Jet, Jason, Eka, Mukti, Aurora, Najib, Agung, dan Ilham atas waktu kumpul, *training* bersama, momen kompetisi, dan kemenangan bersama yang tidak akan pernah penulis lupakan, pengalaman dan kerja sama selama penulis mengabdikan di divisi tercinta ini.

11. Pengurus Inti Workshop HME FT-UB 2017/2018, Arby, Luthfi, Zulva, Gagas, Wahyu, Salman, dan Haekal atas waktu, pengalaman, dan kerja sama selama setahun terakhir.
12. Teman-teman Praktik Kerja Lapangan (PKL) PT. Dirgantara Indonesia, Rifki, Gilang, Leonard atas waktu, motivasi, dan pengalaman kerja bersama.
13. Tri Tiadi Winarto, seorang kawan/konco/sahabat penulis yang memiliki ambisi dan motivasi sama besarnya di bidang masing-masing yang kami geluti.
14. Teman-teman seperantauan alumni SMA Negeri 10 Bekasi yang sekarang satu almamater, Tri, Ayu, Rima, Fitri dan teman-teman yang lain atas waktu dan momen bersama.
15. Kawan berbagi cerita, momen, canda tawa dan waktu bersama, Rifki, Gagas, Bima, Anang, Ketan, Hasan, Rizky, Algy.
16. Seluruh teman-teman serta semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis untuk mencantumkan satu-persatu, terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

Pada Akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Energi Matahari.....	5
2.2. <i>Solar Cell</i>	6
2.3. Sensor ACS712.....	7
2.4. Sensor Tegangan Arduino.....	8
2.5. Arduino Uno R3.....	9
2.6. Komunikasi SPI.....	10
2.7. Komunikasi I2C.....	11
2.8. Baterai.....	12
2.9. LoRa SX1278.....	13
2.10. <i>Display</i> LCD.....	14
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1. Spesifikasi Alat.....	17
3.2. Perancangan Alat.....	17



3.2.1. Diagram Blok Perancangan Sistem.....	18
3.2.2. Prinsip Kerja Sistem.....	18
3.2.3. Perancangan <i>Node Transmitter</i>	19
3.2.4. Perancangan <i>Node Receiver</i>	21
3.3. Pengujian Sistem.....	22
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Pengujian Sensor Arus ACS712.....	25
4.1.1. Tujuan.....	25
4.1.2. Alat Yang Digunakan.....	25
4.1.3. Prosedur Pengujian.....	25
4.1.4. Hasil Pengujian Dan Analisis.....	26
4.2. Pengujian Sensor Tegangan Arduino.....	27
4.2.1. Tujuan.....	27
4.2.2. Alat Yang Digunakan.....	27
4.2.3. Prosedur Pengujian.....	27
4.2.4. Hasil Pengujian Dan Analisis.....	28
4.3. Pengujian LoRa SX1278.....	29
4.3.1. Tujuan.....	29
4.3.2. Alat Yang Digunakan.....	29
4.3.3. Prosedur Pengujian.....	30
4.3.4. Hasil Pengujian Dan Analisis.....	30
4.4. Pengujian Keseluruhan Sistem.....	32
4.4.1. Tujuan.....	32
4.4.2. Alat Yang Digunakan.....	32
4.4.3. Prosedur Pengujian.....	33
4.4.4. Hasil Pengujian Dan Analisis.....	34
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	39



5.1. Kesimpulan..... 39

5.2. Saran..... 39

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Karakteristik temperatur <i>solar cell</i> terhadap tegangan keluaran.....	5
Gambar 2.2. Proses Konversi Energi pada <i>solar Cell</i>	6
Gambar 2.3. Grafik arus-tegangan dan daya-tegangan karakteristik <i>solar cell</i>	7
Gambar 2.4. Rangkaian Sensor ACS712.....	8
Gambar 2.5. Rangkaian Sensor Tegangan Arduino.....	8
Gambar 2.6. Arduino Uno R3.....	9
Gambar 2.7. Blok Diagram antarmuka SPI.....	11
Gambar 2.8. Kondisi Sinyal <i>Start</i> dan <i>Stop</i>	11
Gambar 2.9. Kondisi Sinyal ACK dan NACK.....	12
Gambar 2.10. Kondisi Data pada I2C Bus.....	12
Gambar 2.11. Baterai.....	13
Gambar 2.12. LoRa SX1278.....	14
Gambar 2.13. LCD 16 x 2.....	14
Gambar 3.1. Diagram Blok Sistem.....	18
Gambar 3.2. Diagram Alir Keseluruhan Sistem.....	19
Gambar 3.3. Skematik <i>Node Transmitter</i>	20
Gambar 3.4. Diagram Alir <i>Node Transmitter</i>	20
Gambar 3.5. Skematik <i>Node Receiver</i>	21
Gambar 3.6. Diagram Alir <i>Node Receiver</i>	22
Gambar 4.1. Diagram Blok Pengujian Sensor Arus ACS712.....	25
Gambar 4.2. Konfigurasi Pin Sensor Arus ACS712.....	26
Gambar 4.3. Grafik Hasil Uji Sensor Arus.....	27
Gambar 4.4. Diagram Blok Pengujian Sensor Tegangan Arduino.....	28
Gambar 4.5. Konfigurasi Pin Sensor Tegangan Arduino.....	28
Gambar 4.6. Grafik Hasil Uji Sensor Tegangan Arduino.....	29
Gambar 4.7. Diagram Blok Pengujian LoRa SX1278.....	30
Gambar 4.8. Konfigurasi Pin LoRa SX1278.....	30
Gambar 4.9. Pengujian LoRa SX1278.....	32
Gambar 4.10. Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem.....	33

Gambar 4.11. Grafik Arus-Waktu..... 36
Gambar 4.12. Grafik Tegangan-Waktu..... 36
Gambar 4.13. Grafik Daya-Waktu..... 37



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Arduino Uno.....	9
Tabel 2.2. Konfigurasi LCD 16 x 2.....	15
Tabel 4.1 Hasil Uji Sensor Arus.....	26
Tabel 4.2 Hasil Uji Sensor Tegangan Arduino.....	28
Tabel 4.3. Hasil Uji LoRa SX1278.....	31
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Keseluruhan.....	35



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Alat Dan Pengujian.....	45
Lampiran 2. Listing Program Node Transmitter.....	49
Lampiran 3. Listing Program Node Receiver.....	52
Lampiran 4. Data Kalibrasi Sensor.....	55
Lampiran 5. Datasheet Sensor Arus ACS712-5A.....	57
Lampiran 5. Datasheet LoRa SX1278.....	62



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah bagian yang tidak akan pernah lepas dari kehidupan manusia, segala sesuatu di bumi ini memerlukan energi untuk melakukan sesuatu, namun energi yang sekarang digunakan oleh manusia belum maksimal, kita masih bergantung pada energi fosil yang terbatas dan lama-lama akan habis, padahal masih banyak energi alternatif lain yang bisa dimanfaatkan seperti sumber energi matahari. Dalam upaya pemanfaatan sumber energi matahari ini dibutuhkan suatu penerapan teknologi *photovoltaic* dalam bentuk *solar cell* untuk memenuhi kebutuhan energi manusia.

Dalam proses konversi energi pada *solar cell* dipengaruhi banyak faktor yang dapat mengurangi optimalisasi pada proses konversi energi diantaranya adalah faktor orientasi terhadap matahari yang selalu berubah-ubah dapat mengurangi optimalisasi *solar cell* dalam proses konversi energi matahari menjadi energi listrik. *Solar cell* akan menghasilkan daya maksimal ketika posisinya saling tegak lurus dengan cahaya matahari. Faktor dari pengoperasian *solar cell* agar didapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada beberapa hal salah satunya adalah temperatur *solar cell*. Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur tetap normal (pada 25 °C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada *solar cell* akan melemahkan tegangan (V_{oc}). Setiap kenaikan temperatur sel surya 10 °C (dari 25 °C) akan berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur per 10 °C. Sebuah *solar cell* dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur tetap normal (pada 25 °C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada *solar cell* akan melemahkan tegangan (V_{oc}). (Hardianto, 2012)

Kebutuhan pembangkit listrik di Indonesia saat ini cukup banyak, seiring pertumbuhan konsumsi produk elektronik di masyarakat yang semakin tinggi. Kebutuhan energi dalam negeri akan bertambah hingga 55 ribu megawatt dalam waktu belasan tahun ke depan. Termasuk untuk memenuhi kebutuhan 70 juta masyarakat Indonesia yang saat ini belum mendapatkan listrik. Potensi pemanfaatan energi listrik bertenaga surya di Indonesia mencapai 175 MW di 2020. (Jurnal Nasional, 2014)

Pada penelitian yang serupa, yang diteliti merupakan *monitoring* arus dan tegangan berbasis SMS Gateway. (Fitriandi, dll, 2016). Sistem pemantauan arus dan bertujuan untuk memudahkan melihat besarnya arus dan tegangan yang ada pada jaringan melalui SMS gateway. Mikrokontroler sebagai unit prosesor yang akan terintegrasi ke sensor dan komponen elektronika serta arduino uno digunakan sebagai mikrokontroler yang akan membaca masukkan dari sensor yang kemudian akan dikirimkan melalui SMS gateway.

Sedangkan pada penelitian ini, penulis merancang dan membuat sistem *monitoring* arus dan tegangan *solar cell* menggunakan radio frekuensi. Dalam Rencana Umum Penyediaan Tenaga listrik (RUPTL) PT.PLN (Persero) dicanangkan pengembangan *solar cell* hingga 80 MW sampai 2020. Pada penerapannya, *solar cell* pada sistem pembangkit listrik masih belum bisa dimonitoring dari jarak jauh, sehingga sangat kurang fleksibel dikarenakan harus ke lokasi untuk meninjau kinerja atau *maintenance* PLTS tersebut, oleh karena itu pada penelitian ini dibuat sebuah *hardware* yang nantinya dapat meninjau kinerja arus dan tegangan *solar cell* dengan menggunakan komunikasi LoRa SX1278.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem untuk *monitoring* arus dan tegangan *solar cell* berbasis komunikasi LoRa?
2. Bagaimana sensor ACS712 dan sensor tegangan dapat membaca arus dan tegangan pada *solar cell*?
3. Bagaimana hasil pengujian LoRa antar *node transmitter* dan *node receiver* pada sistem?

1.3 Batasan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan sistem akan diberikan batasan sebagai berikut:

1. Parameter yang di-*monitoring* hanya arus dan tegangan kerja dari *solar cell*.
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno R3.
3. Sensor yang digunakan adalah sensor arus ACS712 dan sensor tegangan.
4. Modul komunikasi yang digunakan adalah LoRa SX1278.
5. Output hanya ditampilkan pada *display LCD*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang bangun arus dan tegangan *solar cell* berbasis Komunikasi LoRa yang dapat *me-monitoring* arus dan tegangan *solar cell* secara *real-time*.

1.5 Manfaat

Pada perancangan alat sistem *monitoring* arus dan tegangan *solar cell* berbasis komunikasi LoRa SX1278 diharapkan dapat diimplementasikan dan dapat *di-monitoring* lewat *database* Universitas Brawijaya.





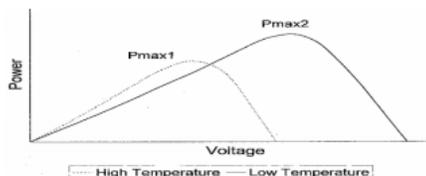
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada rencana penelitian rancang bangun sistem *monitoring* arus dan tegangan *solar cell* berbasis komunikasi LoRa SX1278 dibutuhkan teori penunjang mengenai berbagai hal yang mendukung penelitian ini. Teori penunjang dalam penelitian diperlukan untuk mempermudah pemahaman tentang prinsip kerja dari komponen atau peralatan elektronik yang digunakan serta memberikan pemahaman mengenai teori pendukung lainnya. Teori penunjang yang mendukung penelitian ini meliputi: Pengertian Energi Matahari, *Solar Cell*, Baterai, sensor ACS712, sensor tegangan, mikrokontroler Arduino Uno R3, Komunikasi SPI, RTC DS3231, Komunikasi I2C, modul LoRa SX1278, dan *Display* LCD 16 x 2.

2.1 Energi Matahari

Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi yang dipancarkan matahari. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai 0,5 miliar energi matahari atau kira-kira $1,3 \times 10^{17}$ Watt. Melihat energi yang dikeluarkan dari pancaran matahari yang begitu besar, pemanfaatan energi matahari menjadi salah satu daya tarik tersendiri untuk dilakukan. Salah satu pemanfaatan energi matahari adalah penggunaan *solar cell* yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Dalam proses konversi energi pada *solar cell* dipengaruhi banyak faktor yang dapat mengurangi optimalisasi pada proses konversi energi diantaranya adalah faktor orientasi terhadap matahari yang selalu berubah-ubah dapat mengurangi optimalisasi *solar cell* dalam proses konversi energi matahari menjadi energi listrik. *Solar cell* akan menghasilkan daya maksimal ketika posisinya saling tegak lurus dengan cahaya matahari. Faktor dari pengoperasian *solar cell* agar didapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada beberapa hal salah satunya adalah temperatur *solar cell*.



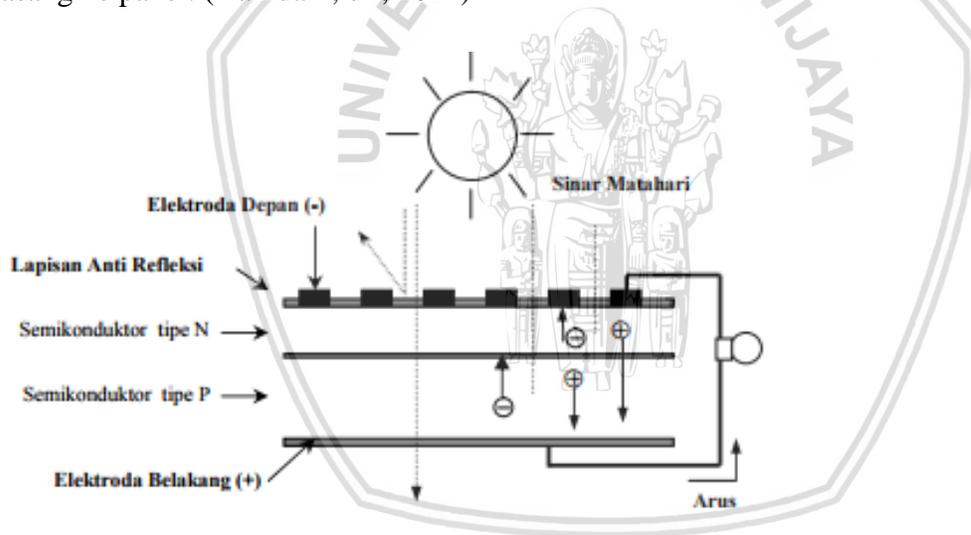
Gambar 2.1. Karakteristik temperatur *solar cell* terhadap tegangan keluaran

Sumber: (Hardianto, 2012)

Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur tetap normal (pada 25 °C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada *solar cell* akan melemahkan tegangan (V_{oc}). Gambar 2.1 menunjukkan setiap kenaikan temperatur sel surya 10 °C (dari 25 °C) akan berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur per 10 °C. (Hardianto, 2012)

2.2 Solar Cell

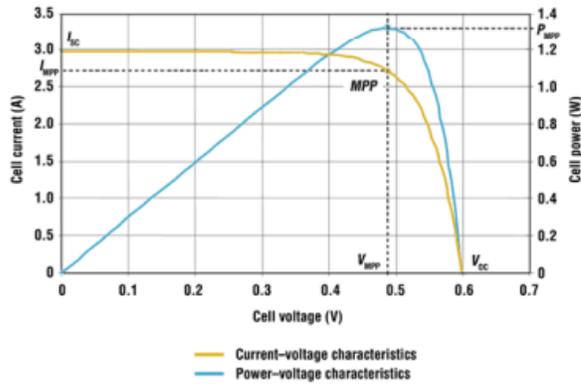
Solar Cell ialah sebuah alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung. Sering juga dipakai istilah *photovoltaic* atau fotovoltaiik. *Solar Cell* pada dasarnya terdiri atas sambungan p-n yang sama fungsinya dengan sebuah diode. Ketika sinar matahari mengenai permukaan *solar cell*, energi yang dibawa oleh sinar matahari ini akan diserap oleh elektron pada sambungan p-n untuk berpindah dari bagian diode *p* ke *n* dan untuk selanjutnya mengalir ke luar melalui kabel yang terpasang ke panel. (Hamdani, dll, 2011)



Gambar 2.2. Proses Konversi Energi pada *Solar Cell*

Sumber: (Yuwono, 2005)

Solar cell menghasilkan daya maksimum pada tegangan tertentu. Gambar_2.3 menunjukkan tegangan arus dan karakteristik tegangan-daya. Gambar ini juga menunjukkan dengan jelas bahwa kurva daya memiliki titik daya maksimum yang disebut MPP (*Maximum Power Point*).



Gambar 2.3. Grafik arus-tegangan dan daya-tegangan karakteristik solar cell

Sumber: (Quashcning, 2004)

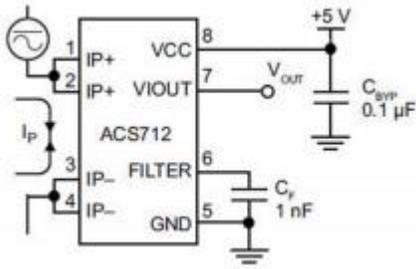
Tegangan titik daya maksimum atau V biasanya kurang dari tegangan rangkaian terbuka dan arusnya, I_{mpp} lebih rendah dibandingkan dengan arus rangkaian pendek. Pada titik daya maksimum, arus dan tegangan memiliki hubungan yang sama dengan irradiansi dan temperatur sebagaimana arus rangkaian pendek dan tegangan rangkaian terbuka.

Efisiensi solar cell (η) adalah perbandingan antara daya listrik maksimum sel surya dengan daya pancaran (radiant) pada bidang solar cell.

$$\eta = \frac{I_{MPP} \times V_{MPP}}{(Intensitas\ cahaya)(luas\ Panel)} \times 100\%$$

2.3 Sensor ACS712

ACS712 merupakan suatu IC terpaket yang mana berguna sebagai sensor arus menggantikan transformator arus yang relatif besar dalam hal ukuran. Pada prinsipnya ACS712 sama dengan sensor efek hall lainnya yaitu dengan memanfaatkan medan magnetik disekitar arus kemudian dikonversi menjadi tegangan yang linier dengan perubahan arus. Nilai variabel dari sensor ini merupakan input untuk mikrokontroler yang kemudian diolah. Keluaran dari sensor ini masih berupa sinyal tegangan AC, agar dapat diolah oleh mikrokontroler maka sinyal tegangan AC ini disearahkan oleh rangkaian penyearah. Gambar 2.4 merupakan gambar rangkaian sensor ACS712. (Fitriandi dll, 2016)

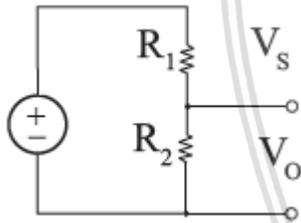


Gambar 2.4. Rangkaian Sensor ACS712

Sumber: (Fitriandi dll, 2016)

2.4 Sensor Tegangan Arduino

Sensor tegangan yang digunakan merupakan sebuah modul sensor tegangan yang menggunakan prinsip pembagi tegangan. Modul ini dapat mengurangi tegangan input hingga 5 kali dari tegangan asli. Tegangan analog input maksimum mikrokontroler yaitu 5 volt, sehingga modul tegangan dapat diberi masukkan tidak melebihi 5 X 5 Volt atau sebesar 25 Volt. Gambar rangkaian sensor tegangan seperti Gambar 3.



Gambar 2.5. Rangkaian Sensor Tegangan Arduino

Sumber: (Fachri dll, 2015)

Pada dasarnya pembacaan sensor hanya dirubah dalam bentuk bilangan dari 0 sampai 1023. Karena chip Arduino AVR memiliki 10 bit AD, maka resolusi pembacaan tegangan modul surya adalah sebesar 0,00489 V dari (5V/1023), dan tegangan input dari modul ini harus lebih dari 0,00489 V x 5 = 0,02445 V. Untuk pembacaan tegangan keluaran panel surya yang lain dapat dirumuskan seperti persamaan berikut:

$$Volt = [(V_{out} \times 0,00489) \times 5]$$

Dengan:

V_{out} = pembacaan pada *analogread* arduino.

$Volt$ = tegangan yang terbaca (V)

2.5 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 (Gambar 2.6) adalah papan pengembangan (*development board*) mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328. *Board* ini berfungsi sebagai arena *prototyping* sirkuit mikrokontroler. Dengan menggunakan papan pengembangan, akan lebih mudah merangkai rangkaian elektronika mikrokontroler dibanding jika memulai merakit ATmega328 dari awal di *breadboard*.

Arduino Uno memiliki 14 digital pin *input / output* (atau biasa ditulis I/O, dimana 6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 pin *input* analog, menggunakan *crystal* 16 MHz, koneksi USB, *jack* listrik, *header* ICSP dan tombol *reset*. Hal tersebut adalah semua yang diperlukan untuk mendukung sebuah rangkaian mikrokontroler.



Gambar 2.6. Arduino Uno R3

Sumber: (Mudhofiroh, 2014)

Pada perancangan ini Arduino Uno R3 digunakan sebagai pengendali untuk mengirimkan data dari sensor ACS712 dan sensor tegangan menuju LoRa SX1278 sebagai *node transmitter* yang selanjutnya dikirim ke bagian *node receiver* LoRa SX1278. Adapun karakteristik Arduino Uno yang akan ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.1. Spesifikasi Arduino Uno

Mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan operasi	5V
Tegangan input	7V - 12V
(yang direkomendasikan,	

via jack DC)

Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	14 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM
Analog Input pin	6 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB, 0.5 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	68.6 mm x 53.4 mm
Berat	25 g

2.6 Komunikasi SPI

SPI merupakan komunikasi seri *synchronous* yang berarti harus menggunakan *clock* yang sama untuk mensinkronisasi deteksi bit pada *receiver*. SPI bekerja pada mode *Full Duplex*. Bus SPI dikembangkan untuk menyediakan komunikasi dengan kecepatan tinggi dengan menggunakan pin mikrokontroler yang sedikit. *Device* yang dikomunikasikan menggunakan SPI dibedakan dalam *master* dan *slave mode*.

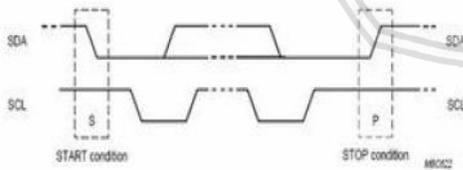
SPI melibatkan *master* dan *slave* yang berfungsi untuk mengirimkan dan menerima data secara terus menerus, namun master bertanggung jawab untuk menyediakan sinyal *clock* untuk *transfer* data. Gambar 2.5 menunjukkan komunikasi antara *master* dan *slave* pada komunikasi SPI. *Master* menyediakan *clock* dan data 8 bit pada pin *master-out-slave-in* (MOSI) dimana data tersebut di-*transfer* satu bit per pulsa *clock* menuju pin MOSI pada *slave*. Delapan bit data juga diberikan dari *slave* ke *master* melalui pin *master-in-slave-out* menuju pin MISO pada *master*. Biasanya pin \overline{SS} (*slave select*) diberi *ground* (*active low*) untuk menjadikannya sebagai *slave*.



Gambar 2.7. Blok Diagram antarmuka SPI

2.7 Komunikasi I2C

Integrated-Integrated Circuit atau sering disebut I2C adalah standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didisain khusus untuk pengontrolan IC. Sistem I2C terdiri dari saluran SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya. *Master* adalah piranti yang memulai pengiriman data pada I2C Bus dengan membentuk sinyal *Start*, mengakhiri pengiriman data dengan membentuk sinyal *Stop*, dan membangkitkan sinyal *clock*. *Slave* adalah piranti yang dialamati master. Sinyal *Start* merupakan sinyal untuk memulai semua perintah, didefinisikan sebagai perubahan tegangan SDA dari satu menjadi nol pada saat SCL satu. Sinyal *Stop* merupakan sinyal untuk mengakhiri semua perintah, didefinisikan sebagai perubahan tegangan SDA dari nol menjadi satu pada saat SCL satu. Kondisi sinyal *Start* dan sinyal *Stop* seperti tampak pada Gambar 2.8.1.

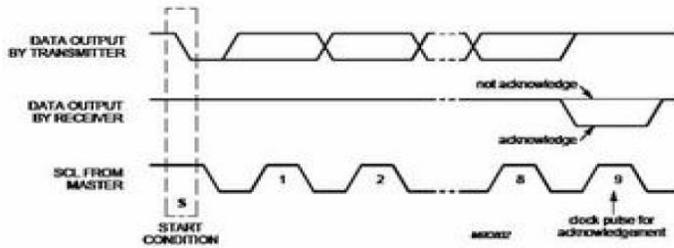


Gambar 2.8. Kondisi Sinyal *Start* dan *Stop*

Sumber: (Budiyanto, 2009)

Sinyal dasar yang lain dalam I2C Bus adalah sinyal *acknowledge* yang disimbolkan dengan ACK. Setelah transfer data oleh *master* berhasil diterima *slave*, *slave* akan menjawabnya dengan mengirim sinyal *acknowledge*, yaitu dengan membuat SDA menjadi nol

selama siklus *clock* ke-sembilan. Ini menunjukkan bahwa *slave* telah menerima 8 bit data dari *master*. Kondisi sinyal *acknowledge* seperti tampak pada Gambar 2.8.

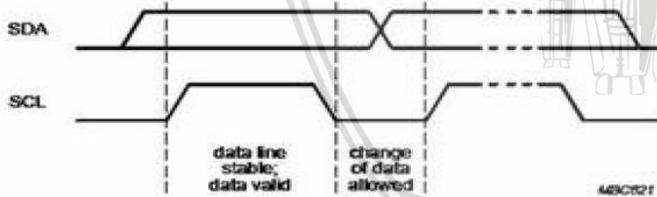


Gambar 2.9. Kondisi Sinyal ACK dan NACK

Sumber: (Budiyanto, 2009)

Dalam transfer data I2C Bus, harus mengikuti tata cara yang ditetapkan yaitu:

- Transfer* data hanya dapat dilakukan dengan ketikan Bus tidak dalam keadaan sibuk.
- Selama proses transfer data, keadaan data pada SDA harus stabil selama SCL dalam keadan tinggi. Keadaan perubahan satu atau nol pada SDA hanya dapat dilakukan selama SCL dalam keadaan rendah. Jika terjadi perubahan keadaan SDA pada saat SCL dalam keadaan tinggi, maka perubahan itu dianggap sebagai sinyal *start* atau sinyal *stop*. Kondisi data pada I2C bus ditunjukkan pada Gambar 2.10.

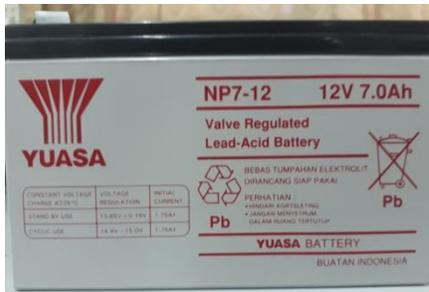


Gambar 2.10. Kondisi Data pada I2C Bus

Sumber: (Budiyanto, 2009)

2.8 Baterai

Baterai *charge* berfungsi sebagai media penyimpan dan penyedia energi listrik. Sumber listrik yang digunakan sebagai pembangkit *power* dalam bentuk arus searah (DC). Alat ini digunakan di dunia elektronika untuk menjalankan fungsi dari alat-alat elektronika itu sendiri.



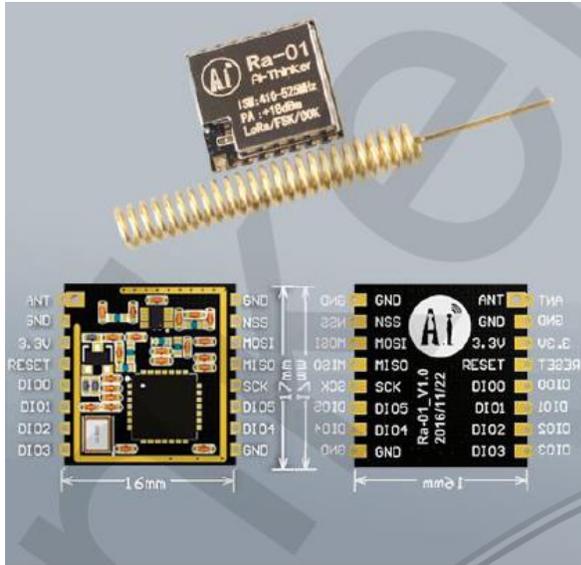
Gambar 2.11. Baterai

2.9 LoRa SX1278

LoRa (*Long Range*) adalah suatu format modulasi yang dibuat oleh Semtech. Modulasi yang dihasilkan menggunakan modulasi FM. Inti pada pemrosesan menghasilkan nilai frekuensi yang stabil. Metode transmisi juga bisa menggunakan PSK (*Phase Shift Keying*), FSK (*Frequency Shift Keying*) dan lainnya. Nilai frekuensi pada LoRa bermacam-macam sesuai daerahnya, jika di Asia frekuensi yang digunakan yaitu 433 MHz, di Eropa nilai frekuensi yang digunakan yaitu 868 MHz, sedangkan di Amerika Utara frekuensi yang digunakan yaitu 915 MHz. Pada perancangan kali ini menggunakan LoRa tipe SX1278. LoRa SX1278 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Komunikasi antarmuka SPI
- Bekerja pada frekuensi 433 MHz atau 475 MHz
- Range pengukuran 10 KM tanpa hambatan
- IC tipe SX1278 dengan *output* TTL
- *Power supply* 1.7 – 3.8 V
- *Transmit power* +20 dBm

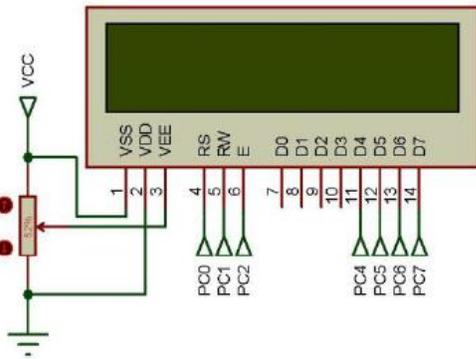
LoRa memiliki prinsip kerja *point-to-point send* sehingga LoRa bersifat *Transceiver*. LoRa memiliki 2 node, yaitu node transmitter sebagai pengirim data, dan node receiver sebagai penerima data. Pada perancangan kali ini menggunakan 2 LoRa yang masing-masing bersifat *transmitter* dan *receiver*.



Gambar 2.12. LoRa SX1278
 Sumber: (Shenzen, 2017)

2.10 Display LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Ada banyak jenis LCD yang beredar luas di pasaran namun ada standarisasi yang cukup populer digunakan merupakan modul LCD dengan tampilan 2x16 (2 baris x 16 kolom) dengan konsumsi daya rendah. Modul tersebut dilengkapi dengan mikrokontroler yang didesain khusus untuk mengendalikan LCD. LCD dengan jenis seperti ini memungkinkan pemrogram untuk mengoperasikan komunikasi data secara 8 bit atau 4 bit.

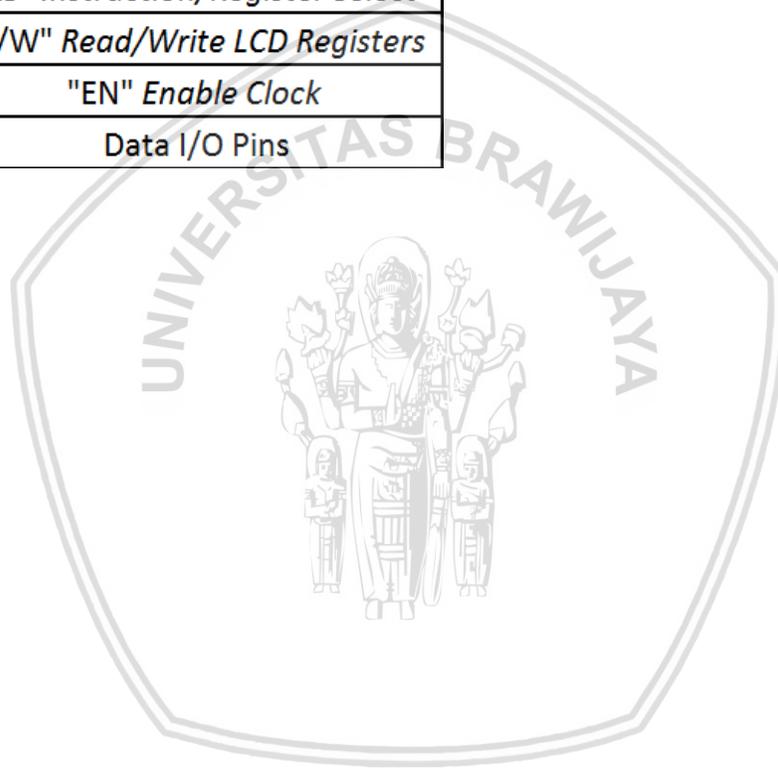


Gambar 2.13. Skema Rangkaian LCD 16 x 2

Urutan pin (1), umumnya, dimulai dari sebelah kiri (terletak di pojok kiri atas) dan untuk LCD yang memiliki 16 pin, 2 pin terakhir (15 & 16) adalah anoda dan katoda untuk *back-lighting*.

Tabel 2.2. Konfigurasi LCD 16 x 2

Pins	Deskripsi
1	<i>Ground</i>
2	VCC 5 V DC
3	Pengatur Kontras
4	"RS" <i>Instruction/Register Select</i>
5	"R/W" <i>Read/Write LCD Registers</i>
6	"EN" <i>Enable Clock</i>
7 s/d 16	Data I/O Pins





BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada skripsi ini adalah metode studi literatur. Studi literatur dilakukan sebagai penunjang yang berupa data-data literatur dari masing-masing komponen, informasi dari internet dan konsep-konsep teoritis dari buku-buku penunjang. Langkah-langkah yang dilakukan untuk merealisasikan alat yang dirancang adalah penentuan spesifikasi, perancangan, metode pengujian dan pengujian sistem.

3.1 Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat pada penelitian ini ditentukan terlebih dahulu sebagai acuan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan keinginan dan dapat bekerja dengan efektif dan efisien. Spesifikasi alat ini terdiri dari:

1. Catu Daya pada sistem ini berasal dari *Solar Cell* dan dikontrol oleh *Solar Charge Controller* dan disimpan di baterai.
2. Sensor yang digunakan pada perancangan ini adalah sensor ACS712 dan sensor *voltage*.
3. Mikrokontroler Arduino Uno R3 digunakan sebagai perangkat untuk membaca sensor dan sebagai pengendali output setelah pengiriman data antar *node transmitter* dan *node receiver*.
4. Modul LoRa SX1278 sebagai perangkat komunikasi *wireless* antara *node transmitter* dan *node receiver*.
5. Display LCD 16x2 digunakan sebagai tampilan *monitoring output* perancangan.

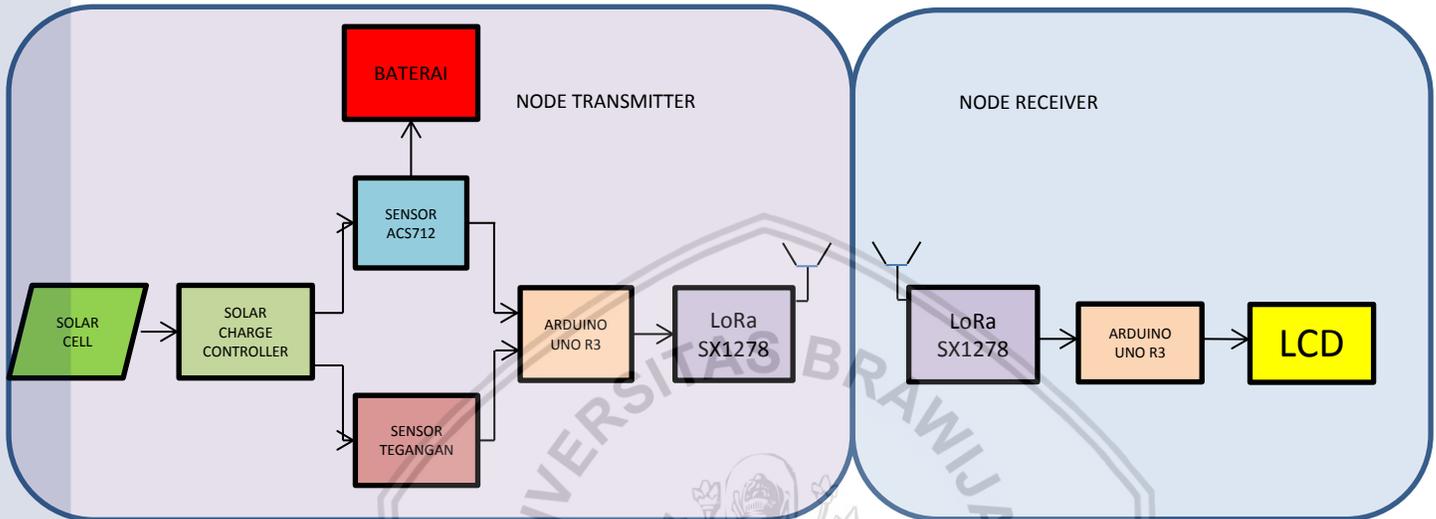
3.2 Perancangan Alat

Perancangan Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Arus dan Tegangan *Solar Cell* Berbasis Komunikasi LoRa SX1278 dilakukan dengan beberapa tahapan. Adapun perencanaan untuk sistem ini dibagi menjadi beberapa tahap:

1. Diagram Blok Perancangan Sistem
2. Perancangan *Node Transmitter*
3. Perancangan *Node Receiver*.

3.2.1. Diagram Blok Perancangan Sistem

Pembuatan Diagram Blok Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Arus dan Tegangan *Solar Cell* Berbasis Komunikasi LoRa SX1278 adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1. Diagram Blok Sistem

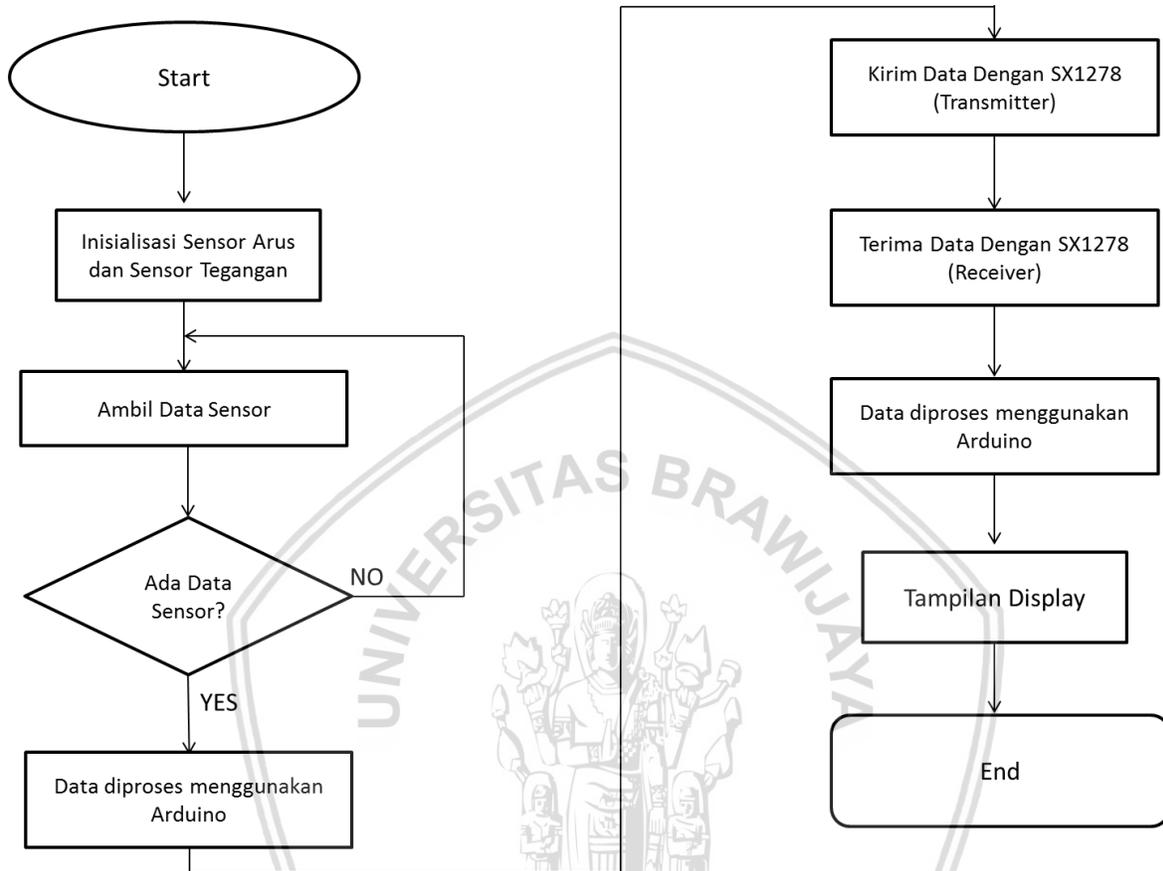
Diagram blok pada gambar 3.1 menampilkan keseluruhan sistem yang ada dalam penelitian ini:

1. *Node transmitter* yang berfungsi sebagai peninjau arus dan tegangan *solar cell* yang kemudian data pembacaan sensor akan dikirimkan menuju *node receiver* menggunakan LoRa SX1278.
2. *Node receiver* bertugas sebagai penerima (*receiver*) hasil pembacaan data-data sensor dari *node transmitter* yang kemudian data akan ditampilkan keluarannya pada display LCD.
3. Display LCD 16x2 digunakan untuk menampilkan output dari perancangan.

3.2.2. Prinsip Kerja Sistem

Dari blok diagram (Gambar 3.1) prinsip kerja sistem adalah *node transmitter* berfungsi sebagai pemancar dan pengirim data. Pada *node transmitter* sensor ACS712 berfungsi untuk membaca arus kerja *solar cell* dan sensor tegangan membaca tegangan kerja. Kemudian data diolah menggunakan Arduino Uno dan dikirim menggunakan LoRa SX1278 menuju *node*

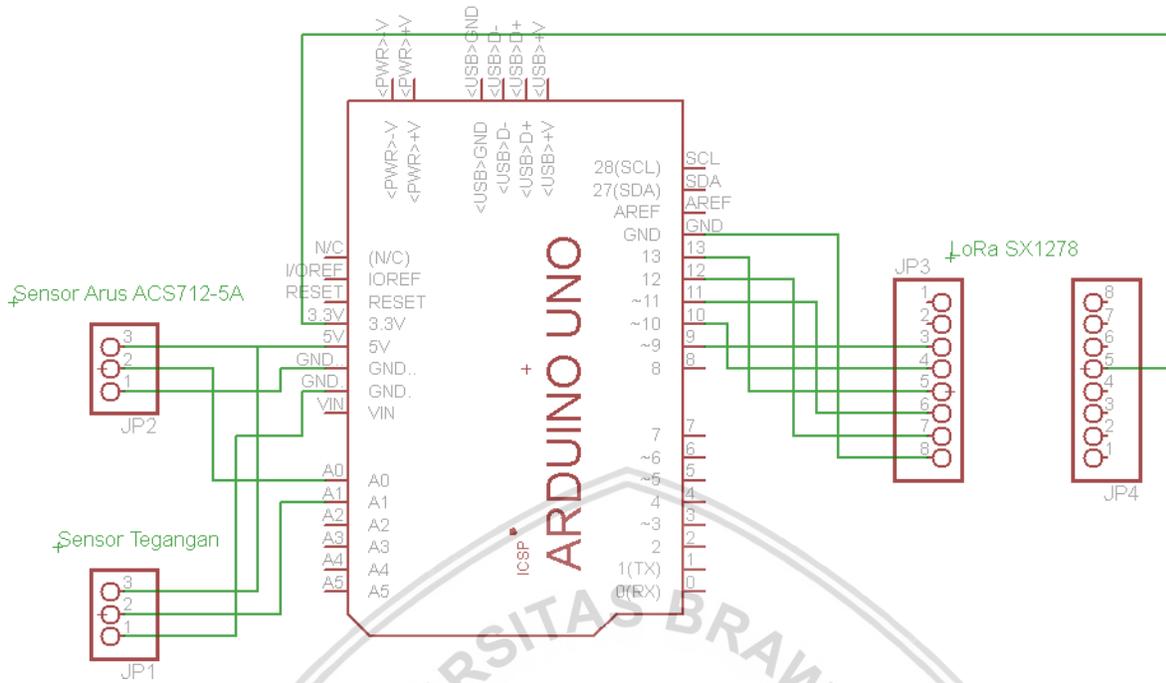
receiver. Setelah data diterima *node receiver* LoRa SX1278, data diolah menggunakan Arduino Uno dan selanjutnya data tersebut ditampilkan pada *display* LCD.



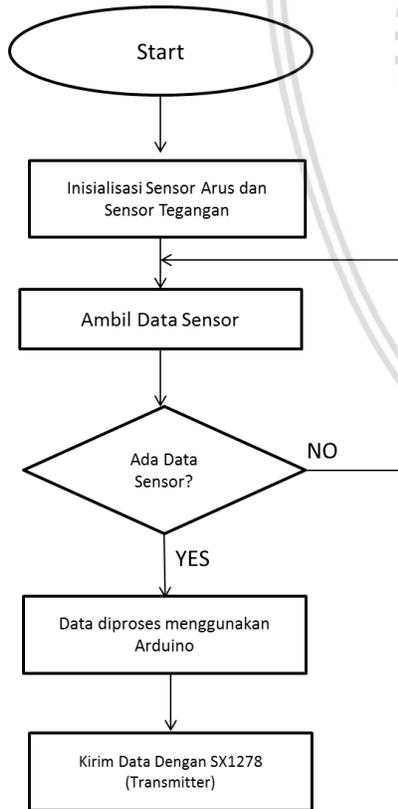
Gambar 3.2. Diagram Alir Keseluruhan Sistem

3.2.3. Perancangan *Node Transmitter*

Perancangan ini meliputi sensor ACS712, sensor tegangan arduino, LoRa SX1278 yang pin-pinnya akan disambungkan pada mikrokontroler Arduino Uno. Tampilan perancangan berupa *Flowchart* serta prinsip kerja dari *node transmitter*.



Gambar 3.3. Rancangan Skematik Node Transmitter



Gambar 3.4. Diagram Alir Node Transmitter

1. Sensor ACS712

Sensor ACS712 digunakan untuk pembacaan arus kerja dari *solar cell*.

2. Sensor Voltage

Sensor *voltage* digunakan untuk pembacaan tegangan kerja dari *solar cell*.

3. Arduino Uno

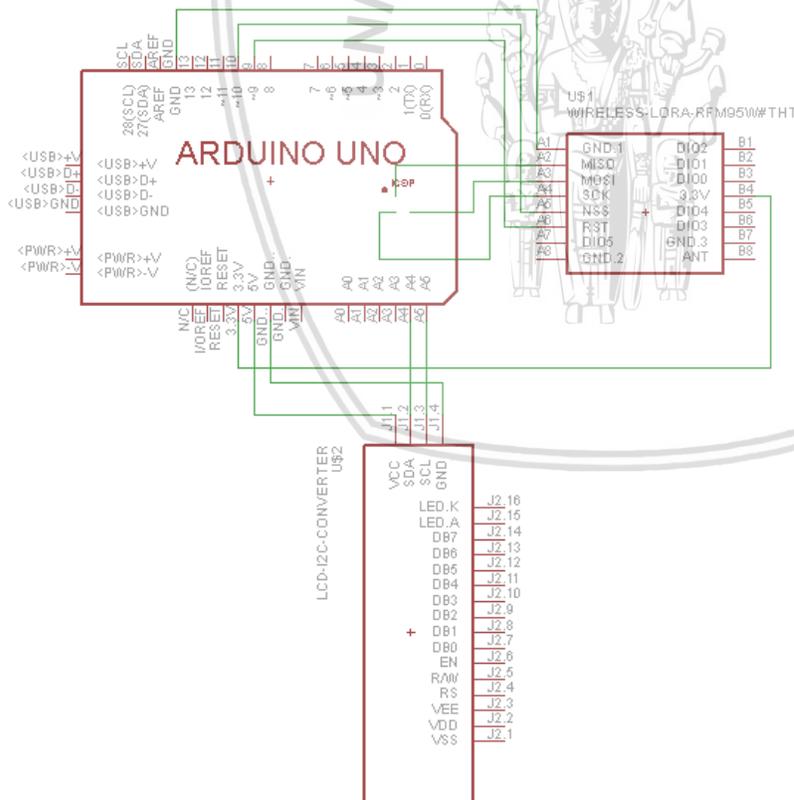
Mikrokontroler Arduino Uno merupakan pengendali utama dari sistem.

4. LoRa SX1278

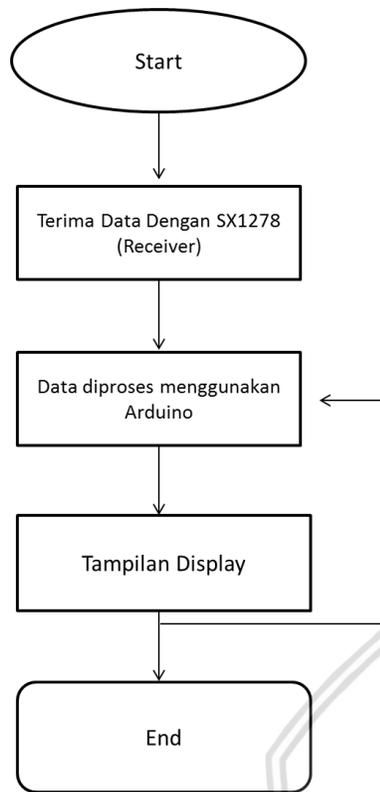
LoRa SX1278 sebagai komunikasi wireless untuk pengiriman data antar *node transmitter* dan *node receiver*.

3.2.4. Perancangan Node Receiver

Perancangan ini meliputi, LoRa SX1278, LCD 16x2 yang pin-pinnya akan disambungkan pada mikrokontroler Arduino Uno. Tampilan perancangan berupa *Flowchart* serta prinsip kerja dari *node transmitter*.



Gambar 3.5. Skematik Node Receiver



Gambar 3.6. Diagram Alir *Node Receiver*

1. Arduino Uno

Mikrokontroler Arduino Uno merupakan pengendali utama dari sistem.

2. LoRa SX1278

LoRa SX1278 sebagai komunikasi wireless untuk pengiriman data antar *node transmitter* dan *node receiver*.

3. Display LCD 16x2

LCD berfungsi untuk menampilkan data keluaran sistem.

3.3 Pengujian Sistem

Untuk menganalisis kerja dari sistem terdapat beberapa tahap pengujian, antara lain:

1. Pengujian Sensor

Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan sensor ACS712 dan sensor tegangan arduino dengan pin analog arduino uno, agar dapat dilihat hasil pembacaan

sensor yang akurat maka hasil pembacaan sensor akan dibandingkan dengan arus dan tegangan kerja yang masuk ke *solar charge controller*.

2. Pengujian LoRa SX1278

Pengujian dilakukan dengan seberapa jauh SX1278 dapat mengirim data ke SX1278 lainnya dan seberapa besar *error* yang terbaca terhadap jarak komunikasi antar SX1278.

3. Pengujian Daya

Pengujian daya dengan menghitung daya keluaran langsung dari *solar cell* menggunakan persamaan daya.

4. Pengujian Seluruh Sistem

Pengujian keseluruhan sistem ini dengan menyambungkan semua *hardware* yang dibuat berdasarkan blok diagram dan memasukkan program berupa *software* yang bekerja untuk mengendalikan perangkat keras yang telah dibuat. Sistem bekerja dengan baik jika dapat berjalan sesuai dengan yang telah direncanakan.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah seluruh sistem bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok dalam perancangan perangkat keras serta pengujian keseluruhan untuk mengetahui perangkat lunak dapat bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian sensor arus ACS712
2. Pengujian sensor tegangan arduino
3. Pengujian LoRa SX1278
4. Pengujian keseluruhan sistem

4.1. Pengujian Sensor Arus ACS712

4.1.1. Tujuan

Tujuan pengujian sensor ini adalah untuk membuktikan apakah sensor arus ACS712 dapat membaca dan mendeteksi arus dari sumber.

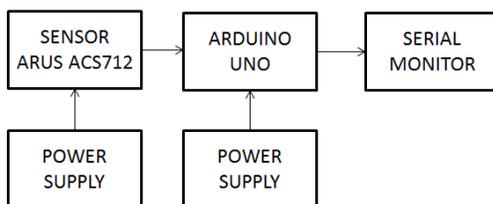
4.1.2. Alat Yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian sensor meliputi:

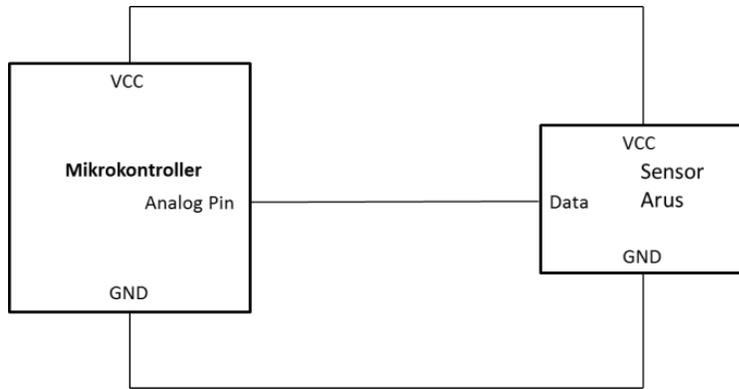
1. Sensor Arus ACS712
2. Laptop
3. Mikrokontroler Arduino UNO
4. Catu daya
5. Rheostat
6. Amperemeter
7. Serial Monitor

4.1.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian sensor ini adalah membandingkan nilai keluaran sensor arus ACS712 dengan nilai pembacaan.



Gambar 4.1. Diagram Blok Pengujian Sensor Arus ACS712



Gambar 4.2. Konfigurasi Pin Sensor Arus ACS712

Prosedur pengujian sensor arus ACS712 dengan mikrokontroler adalah sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian seperti gambar 4.2.
2. Baca nilai keluaran sensor arus ACS712 melalui serial monitor yang ada pada *software* arduino IDE.
3. Bandingkan nilai pembacaan sensor arus ACS712 dengan nilai keluaran.

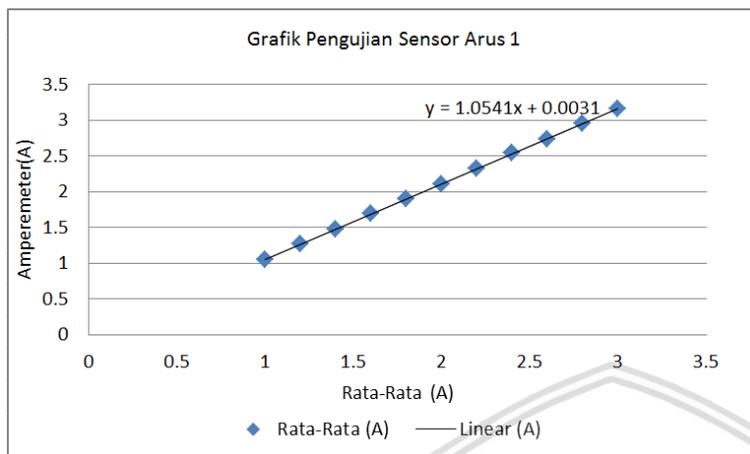
4.1.4. Hasil Pengujian Dan Analisis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai akurasi dan *error* sensor arus ACS712. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai keluaran dan nilai pembacaan. Hasil pengujian akan ditampilkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji Sensor Arus

Amperemeter (A)	Rata-Rata (A)	Selisih (A)	Akurasi $\pm 2\%$ (V)	Error (%)
1	1,0534	0,0534	$\pm 0,0211$	5,34
1,2	1,27	0,07	$\pm 0,0254$	5,833
1,4	1,4766	0,0766	$\pm 0,0295$	5,428
1,6	1,69	0,09	$\pm 0,0338$	5,625
1,8	1,9066	0,1066	$\pm 0,0381$	5,922
2	2,1033	0,1033	$\pm 0,0421$	5,165
2,2	2,3266	0,1266	$\pm 0,0465$	5,754
2,4	2,5433	0,1433	$\pm 0,0509$	5,97
2,6	2,7366	0,1366	$\pm 0,0547$	5,254
2,8	2,9533	0,1533	$\pm 0,0591$	5,475
3	3,1633	0,1633	$\pm 0,0633$	5,443
Error rata-rata				5,5644

Dari hasil uji sensor arus, didapatkan *error* sebesar 5,5644% disimpulkan dalam bentuk grafik yang ditampilkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik Hasil Uji Sensor Arus

Hasil pengujian rangkaian sensor arus dapat disimpulkan bahwa semakin besar arus yang dikeluarkan oleh *power supply* maka semakin besar pula arus yang dibaca sensor dengan keluaran sensor arus linier dengan *error* sebesar 5,5644%.

4.2. Pengujian Sensor Tegangan Arduino

4.2.1. Tujuan

Tujuan pengujian sensor ini adalah untuk membuktikan apakah sensor tegangan arduino dapat membaca dan mendeteksi tegangan sumber.

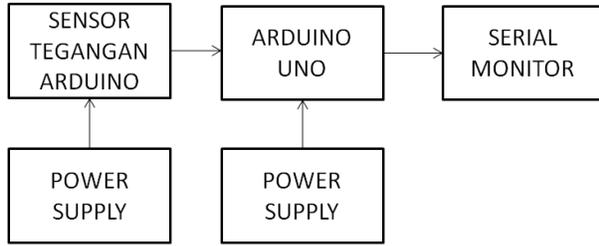
4.2.2. Alat Yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian sensor meliputi:

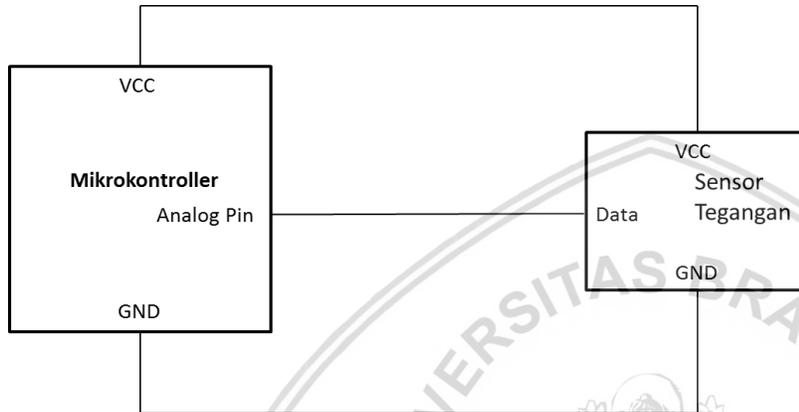
1. Sensor Tegangan Arduino
2. Laptop
3. Mikrokontroler Arduino UNO
4. Catu daya
5. Voltmeter
6. Kabel jumper secukupnya
7. Serial Monitor

4.2.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian sensor ini adalah membandingkan nilai keluaran sensor tegangan arduino dengan nilai pembacaan.



Gambar 4.4. Diagram Blok Pengujian Sensor Tegangan Arduino



Gambar 4.5. Konfigurasi Pin Sensor Tegangan Arduino

Prosedur pengujian sensor tegangan arduino dengan mikrokontroler adalah sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian seperti gambar 4.5.
2. Baca nilai keluaran sensor tegangan arduino melalui serial monitor yang ada pada *software* arduino IDE.
3. Bandingkan nilai pembacaan sensor tegangan arduino dengan nilai keluaran.

4.2.4. Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai akurasi dan *error* sensor tegangan arduino. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai keluaran dan nilai pembacaan. Hasil pengujian akan ditampilkan pada tabel 4.2.

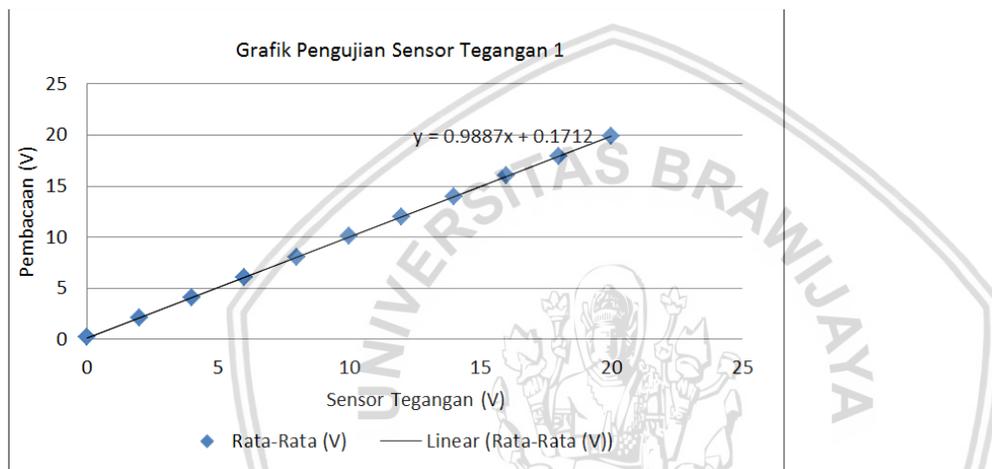
Tabel 4.2 Hasil Uji Sensor Tegangan Arduino

Voltmeter (V)	Rata-Rata (V)	Selisih (V)	Akurasi ±2% (V)	Error (%)
0	0,2613	0,2163	±0,0052	Tidak Terdefinisi
2	2,088	0,088	±0,0418	4,4
4	4,106	0,106	±0,0821	2,65
6	6,04	0,04	±0,1208	0,667
8	8,043	0,43	±0,1609	5,375



10	10,123	0,123	±0,2025	1,23
12	12,046	0,046	±0,2409	0,384
14	14,013	0,013	±0,2803	0,093
16	16,053	0,053	±0,3211	0,331
18	17,95	0,05	±0,3590	0,278
20	19,916	0,084	±0,3983	0,42
Error rata-rata (%)				1,583

Dari hasil uji sensor tegangan arduino, dapat disimpulkan dalam bentuk grafik yang ditampilkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Grafik Hasil Uji Sensor Tegangan Arduino

Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan arduino dapat disimpulkan bahwa semakin besar tegangan yang dicatu maka semakin besar pula tegangan yang dibaca sensor dengan keluaran sensor tegangan arduino linier dengan *error* sebesar 1.583%.

4.3. Pengujian LoRa SX1278

4.3.1. Tujuan

Tujuan pengujian LoRa SX1278 adalah untuk membuktikan apakah LoRa SX1278 berhasil mengirim dan menerima data. Pengujian dilakukan berdasarkan perbedaan jarak antar LoRa yang berfungsi sebagai *transmitter* dan LoRa yang berfungsi sebagai *receiver*.

4.3.2. Alat Yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian sensor meliputi:

1. 2 buah LoRa SX1278
2. 2 buah Laptop
3. 2 buah Mikrokontroler Arduino UNO

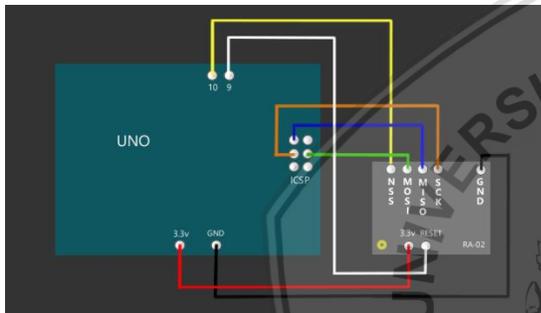
4. Kabel jumper secukupnya
5. Serial Monitor.

4.3.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian LoRa SX1278 adalah melakukan pengujian *range* pengukuran LoRa SX1278 dengan mengirimkan 20 data, lalu amati berapa banyak data yang terkirim dan berapa banyak data yang hilang.



Gambar 4.7. Diagram Blok Pengujian LoRa SX1278



Gambar 4.8. Konfigurasi Pin LoRa SX1278

Prosedur pengujian LoRa SX1278 dengan mikrokontroler adalah sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian seperti gambar 4.8. Pengujian dilakukan di dua jarak berbeda.
2. Kirimkan data menggunakan LoRa SX1278 yang berfungsi sebagai *transmitter* dan LoRa yang bertindak sebagai *receiver* akan menerima data.
3. Keberhasilan pengiriman dan penerimaan data dapat diamati melalui serial monitor yang ada pada *software* arduino IDE.

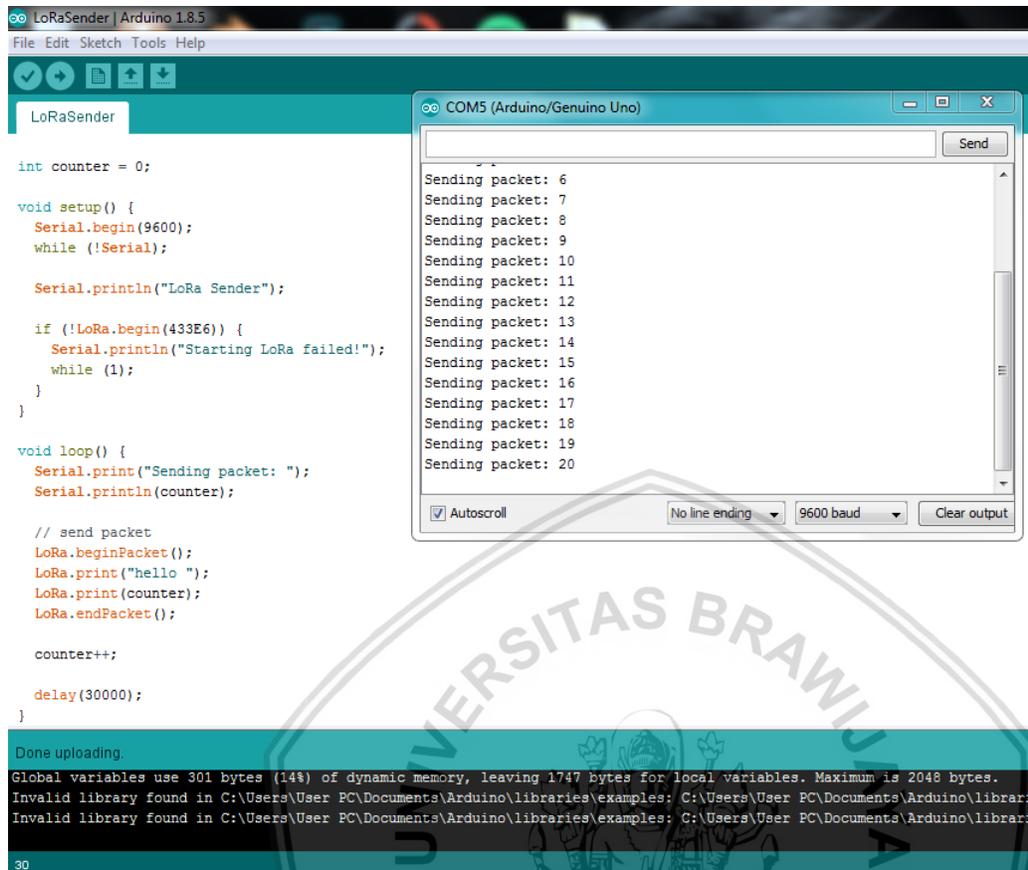
4.3.4. Hasil Pengujian Dan Analisis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan pengiriman dan penerimaan data, serta jumlah kehilangan data LoRa SX1278. Pengujian jarak komunikasi LoRa Sx1278 dilakukan di tempat yang bebas hambatan yaitu lorong, lapangan dan jalan lurus tanpa ada hambatan dengan mengirimkan data berupa *counter* sebanyak 20 kali. Pengujian dilakukan dengan jarak maksimal 400 m. Hasil pengujian akan ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil Uji LoRa SX1278

Jarak	Data transmitter	Data Receiver	Banyak kehilangan data	% kehilangan data
5 m	20 data	20 data	0	0%
10 m	20 data	20 data	0	0%
15 m	20 data	20 data	0	0%
20 m	20 data	20 data	0	0%
25 m	20 data	20 data	0	0%
30 m	20 data	20 data	0	0%
35 m	20 data	20 data	0	0%
100m	20 data	20 data	0	0%
200m	20 data	20 data	0	0%
300m	20 data	20 data	0	0%
400m	20 data	19 data	1	5%

Berdasarkan hasil pengujian dengan mengirimkan data counter sebanyak 20 kali, LoRa dapat menerima data dengan baik tanpa ada satupun data yang hilang dari range jarak 0-300 m. Untuk jarak 400 m terdapat 1 data *counter* yang hilang. Hal itu disebabkan oleh beberapa faktor yaitu posisi *antenna* kurang tepat dan adanya beberapa *noise* yang menghalangi proses pengiriman dan penerimaan data.



Gambar 4.9. Pengujian LoRa SX1278

4.4. Pengujian Keseluruhan Sistem

4.4.1. Tujuan

Tujuan pengujian keseluruhan adalah untuk mengetahui apakah sistem yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Parameter dalam pengujian keseluruhan adalah arus, tegangan, daya, keberhasilan pengiriman dan pengiriman data.

4.4.2. Alat Yang Digunakan

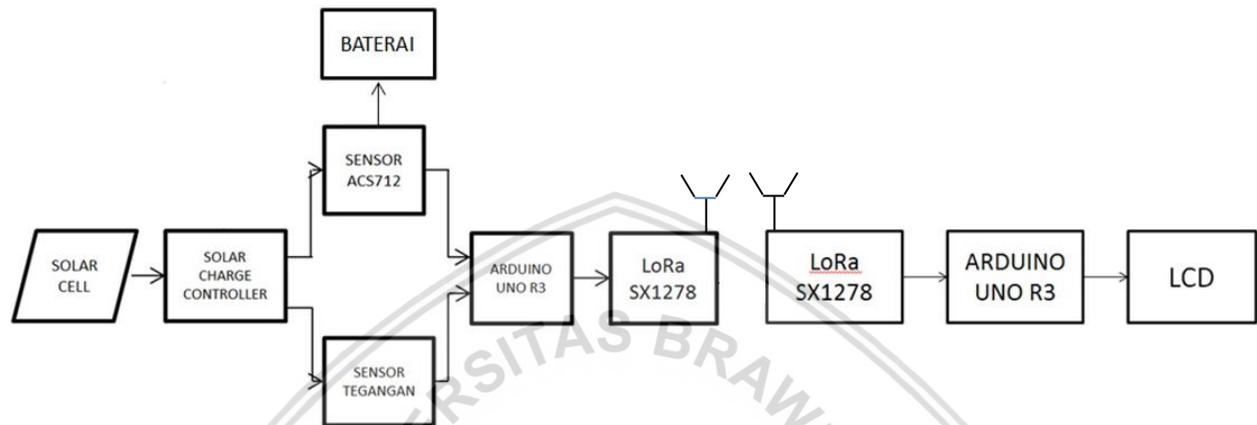
Alat yang digunakan dalam pengujian sensor meliputi:

1. 1 buah sensor arus ACS712
2. 1 buah sensor tegangan arduino
3. 1 buah *solar charge controller*
4. 1 buah aki
5. 2 buah LoRa SX1278
6. 1 buah Laptop.
7. 2 buah Mikrokontroler Arduino UNO.

8. 1 buah LCD 16x2
9. Kabel jumper secukupnya.

4.4.3. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menjalankan perangkat keras dan perangkat lunak yang sudah diuji kemudian hasil keluaran ditampilkan di LCD dan Serial Monitor.



Gambar 4.10. Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem

Prinsip kerja diagram blok sistem:

1. *Solar cell* berguna sebagai sumber catu. *Solar cell* yang digunakan memiliki spesifikasi 10 WP.
2. *Solar charge controller* berfungsi sebagai pengatur arus ke baterai lalu akan dibaca nilainya oleh sensor arus ACS712. Sensor tegangan berfungsi untuk melakukan pembacaan nilai tegangan kerja pada *solar cell*
3. Arduino mengolah data pembacaan sensor arus dan sensor tegangan yang selanjutnya dikirim melalui LoRa SX1278 bagian *transmitter*.
4. Komunikasi yang digunakan oleh LoRa SX1278 adalah komunikasi SPI dan Komunikasi yang digunakan oleh LCD adalah komunikasi I2C.
5. Data pembacaan selanjutnya akan diterima oleh LoRa SX1278 bagian *receiver* lalu diolah arduino dan ditampilkan pada display LCD.

Prosedur pengujian keseluruhan sistem adalah sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian keseluruhan sistem sesuai Gambar 4.10
2. Letakkan rangkaian *node transmitter* pada range pengukuran sesuai dengan hasil uji sebelumnya.

3. Letakkan rangkaian *node receiver* di tempat yang terjangkau sesuai dengan hasil uji sebelumnya.
4. Lihat hasil pembacaan sensor.

4.4.4. Hasil Pengujian Dan Analisis

Pengujian keseluruhan memberikan hasil yang baik. Sistem mampu menampilkan pembacaan arus, tegangan, serta daya. Hasil pengujian akan ditampilkan pada Tabel 4.4. Adapun hasil pengujian keseluruhan sistem dapat dilihat pada grafik 4.11, grafik 4.12, dan grafik 4.13.

Perhitungan Daya keluaran *Solar Cell*:

- Menit Ke- 0

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 16,65 \text{ V} \times 0,17 \text{ A} \\ &= 2,830 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menit Ke-10

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 16,48 \text{ V} \times 0,155 \text{ A} \\ &= 2,554 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menit Ke-20

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 17,435 \text{ V} \times 0,17 \text{ A} \\ &= 2,964 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menit Ke-30

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 17,00 \text{ V} \times 0,2 \text{ A} \\ &= 3,400 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menit Ke-40

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 17,2 \text{ V} \times 0,19 \text{ A} \\ &= 3,268 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menit Ke-50

$$P = V \times I$$

$$= 17,35 \text{ V} \times 0,18 \text{ A}$$

$$= 3,123 \text{ W}$$

- Menit Ke-60

$$P = V \times I$$

$$= 17,525 \text{ V} \times 0,14 \text{ A}$$

$$= 2,453 \text{ W}$$

- Menit Ke-70

$$P = V \times I$$

$$= 16,32 \text{ V} \times 0,15 \text{ A}$$

$$= 2,448 \text{ W}$$

- Menit Ke-80

$$P = V \times I$$

$$= 17,23 \text{ V} \times 0,175$$

$$= 3,015 \text{ W}$$

- Menit Ke-90

$$P = V \times I$$

$$= 16,575 \text{ V} \times 0,17$$

$$= 2,818 \text{ W}$$

- Menit Ke-100

$$P = V \times I$$

$$= 16,235 \text{ V} \times 0,17$$

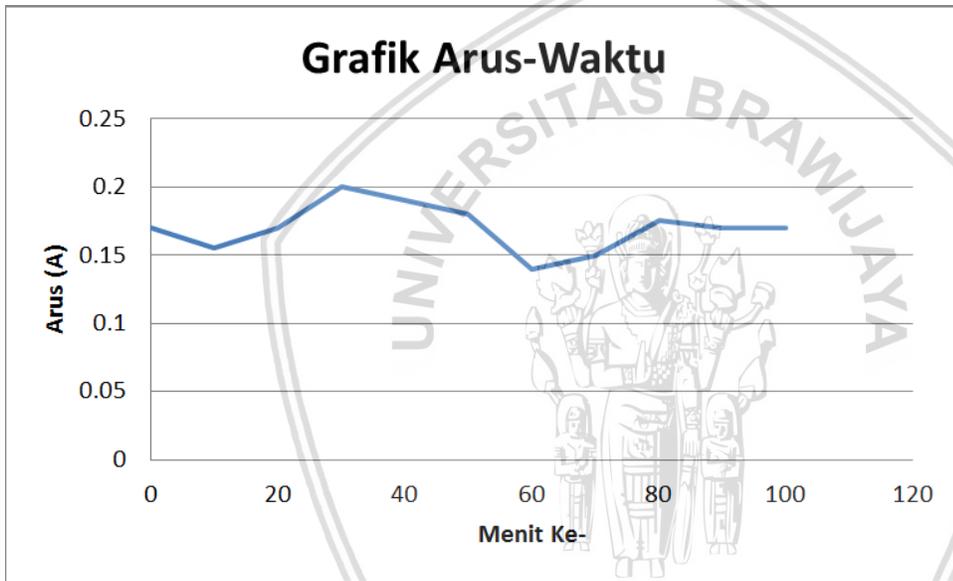
$$= 2,760 \text{ W}$$

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Keseluruhan

Menit Ke-	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)	Data Transmitter	Data Receiver
0	0,17	16,65	2,830	Terkirim	Terima
10	0,155	16,48	2,554	Terkirim	Terima
20	0,17	17,435	2,964	Terkirim	Terima
30	0,2	17,00	3,400	Terkirim	Terima
40	0,19	17,2	3,268	Terkirim	Terima
50	0,18	17,35	3,123	Terkirim	Terima
60	0,14	17,525	2,453	Terkirim	Terima
70	0,15	16,32	2,448	Terkirim	Terima

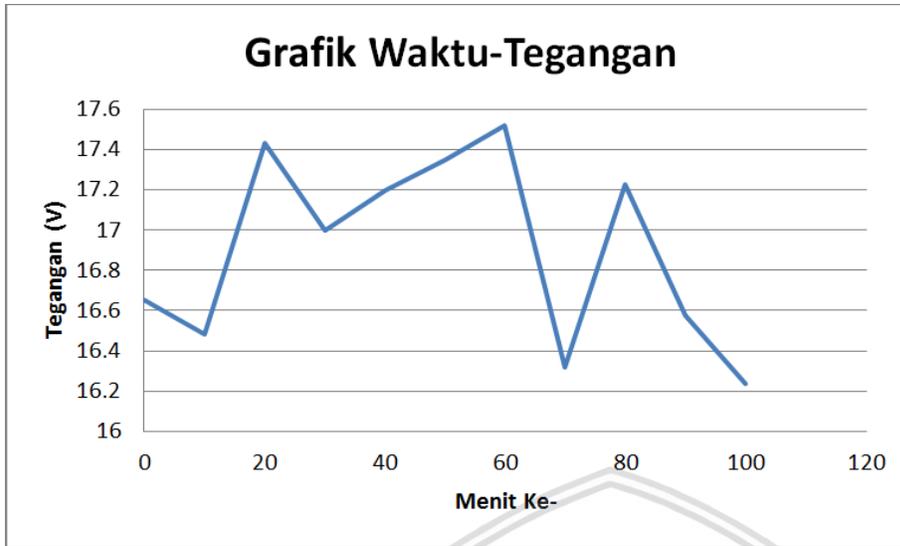
80	0,175	17,23	3,015	Terkirim	Terima
90	0,17	16,575	2,818	Terkirim	Terima
100	0,17	16,235	2,760	Terkirim	Terima

Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan, didapatkan rata-rata arus sebesar 0,17 A, rata-rata tegangan sebesar 16,91 V, rata-rata daya sebesar 2,875 W. Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali pada pukul 11.00-13.00. *Solar cell* diletakkan pada posisi *horizontal* di halaman parkir Gedung C Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Data yang dikirim oleh LoRa SX1278 bagian *transmitter* berhasil terkirim dan diterima oleh LoRa SX1278 bagian *receiver*.



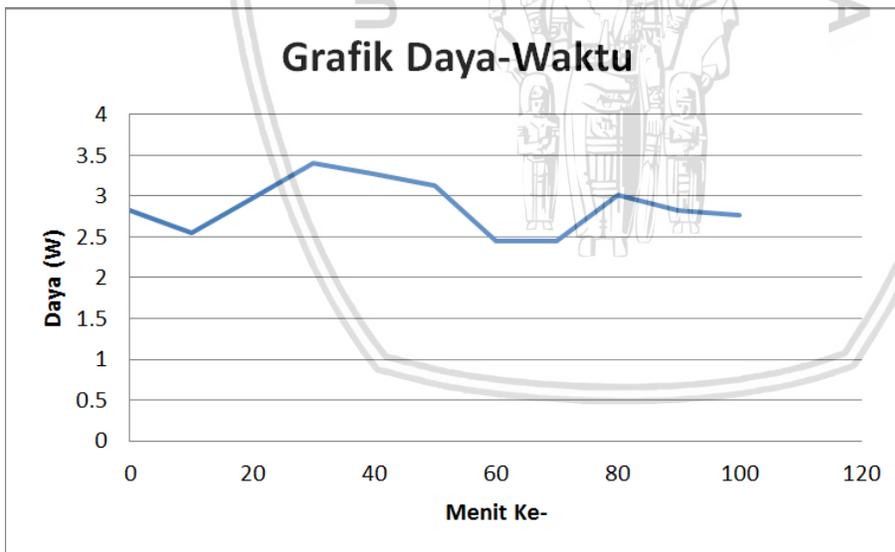
Gambar 4.11. Grafik Arus-Waktu

Dari Gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai pembacaan arus yang tidak stabil dikarenakan penempatan dan kemiringan *solar cell* kurang tepat sehingga intensitas cahaya yang menyinari permukaan *solar cell* kurang maksimal. Data berupa grafik yang ditampilkan sesuai dengan Tabel 4.4. untuk nilai arus dan waktu.



Gambar 4.12. Grafik Tegangan-Waktu

Dari Gambar 4.12 menunjukkan nilai pembacaan tegangan yang tidak stabil dikarenakan penempatan dan kemiringan *solar cell* kurang tepat sehingga intensitas cahaya yang menyinari permukaan *solar cell* kurang maksimal. Data berupa grafik yang ditampilkan sesuai dengan Tabel 4.4. untuk nilai tegangan dan waktu.



Gambar 4.13. Grafik Daya-Waktu

Dari Gambar 4.13 menunjukkan intensitas cahaya sangat mempengaruhi daya pada sistem *solar cell*. Semakin tinggi intensitas cahaya yang menyinari permukaan panel surya, maka semakin meningkat arus dan tegangan yang dihasilkan *solar cell*. data berupa grafik yang ditampilkan sesuai dengan Tabel 4.4. untuk nilai daya dan waktu.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan, pembuatan dan pengujian yang telah dilakukan terhadap alat baik pengujian pada sub-sistem maupun pengujian seluruh sistem, maka dapat disusun kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan sistem *monitoring* arus dan tegangan *solar cell* berbasis komunikasi LoRa SX1278 terdiri atas 2 node, yaitu *node transmitter* dan *node receiver*. Data dari pembacaan sensor dari *node transmitter* ditransmisikan ke *node receiver* menggunakan LoRa SX1278 kemudian dari *node receiver* diolah oleh arduino uno dan ditampilkan pada *display* LCD.
2. Pembacaan sensor arus dan sensor tegangan terhadap penulis sudah sesuai dengan yang diharapkan, namun masih terdapat *error* pada saat melakukan kalibrasi.
3. Berdasarkan hasil pengujian dengan mengirimkan data *counter* sebanyak 20 kali, LoRa dapat menerima data dengan baik tanpa ada satupun data yang hilang dari range jarak 0-300 m. Untuk jarak 400 m terdapat 1 data *counter* yang hilang. Hal itu disebabkan oleh beberapa faktor yaitu posisi antena kurang tepat dan adanya beberapa noise yang menghalangi proses pengiriman dan penerimaan data.

3.2. Saran

Saran yang dapat digunakan dalam peningkatan kerja sistem kedepannya dapat dihubungkan dengan server IoT dan dapat dilakukan *monitoring* pada *charge* dan *discharge* baterai.



DAFTAR PUSTAKA

- Achmad.D.P, Soewarto.H, & Andi.C. (2015). *Model Sistem Penyiraman Dan Penerangan Taman Menggunakan Soil Moisture Sensor Dan RTC (Real Time Clock) Berbasis Arduino UNO*. Program Studi Ilmu Komputer FMIPA Universitas Pakuan.
- Arduino 25 V Voltage Sensor Module User Manual*. Internet: <http://henrysbench.cpnfatz.com/henrys-bench/Arduino-25v-voltage-sensormodule-user-manual/>. (diakses pada tanggal 13 Desember 2017).
- Arduino Ai-Thinker Ra-02*. Internet: <https://robotzero.one/arduino-ai-thinker-ra-02/>. (diakses pada tanggal 26 April 2018).
- Barnett, Cull, Cox. (2007). *Embedded C Programming and the Atmel AVR 2nd ed.* Nelson Education, Ltd.: Canada.
- Budiyanto, Farid, & Sukarman. (2009). *Monitoring Dan Kontrol Suhu Menggunakan Modul Jaringan Nm7010a-Lf*. Seminar Nasional V Sdm Teknologi Nuklir Yogyakarta. ISSN: 1978-0176.
- Fachri, M. Rizal., Sara, Ira Devi., Away, & Yuwaldi. (2015). *Pemantauan Parameter Panel Surya Berbasis Arduino secara Real Time*. Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala.
- Fitriandi, Afrizal., Komalasari, Endah., & Gusmedi, Herri. (2016). *Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway*. Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro Volume 10, No. 2 Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Hakim, M. Fahmi. (2017). *Perancangan Rooftop Off Grid Solar Panel Pada Rumah Tinggal Sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik*. Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang. ISSN 2086-2652.
- Hamdani, Dadan., Subagiada, Kadek., & Subagio, Lambang. (2011). *Analisis Kinerja Solar Photovoltaic System (Sps) Berdasarkan Tinjauan Efisiensi Energi dan Eksergi*. Jurnal Material dan Energi Indonesia, Vol. 01, No. 02, hlm. 84 – 92.
- Hardianto, H.E., & Rinaldi, Reza S. (2012). *Perancangan Prototype Penjejak Cahaya Matahari Pada Aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Jurnal Ilmiah Foristek Vol. 2, No. 2 Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu.
- Jurnal Nasional. (2014). *RI Layak Kembangkan Panel Surya*. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- Mazidi, Muhammad Ali. (2011). *The Microcontroller and Embedded System: Using Assembly and C*. Pearson Education, inc: New Jersey.
- Mudhofiroh, Novi., & Noor, M. Fathuddin. (2014). *Karakteristik Solar Cell 10-WP Pada Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan*. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Panca Marga.

Purnomo, Wahyu. (2010). *Pengisi Baterai Otomatis Dengan Menggunakan Solar Cell*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma.

Quaschnig, V., (2004). *Renewable Energy World*. Science Publisher, German.

