

IDENTIFIKASI RENTANG WAKTU PENGISIAN TERHADAP *STATE OF HEALTH* BATERAI VALVE-REGULATED LEAD ACID (VRLA)

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ROSIHAN ARBY HARAHAP

NIM. 145060301111037

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018



LEMBAR PENGESAHAN
IDENTIFIKASI RENTANG WAKTU PENGISIAN TERHADAP
STATE OF HEALTH BATERAI *VALVE-REGULATED LEAD ACID*
(VRLA)

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



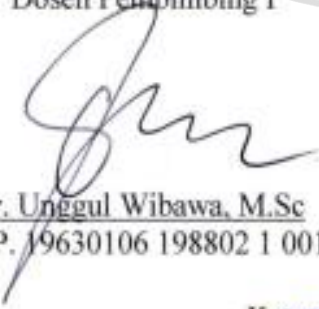
ROSIHAN ARBY HARAHAP


NIM. 145060301111037

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

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Ir. Unggul Wibawa, M.Sc
NIP. 19630106 198802 1 001


Akhmad Zainuri, S.T., M.T.
NIP. 19840120 201212 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



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





JUDUL SKRIPSI:

IDENTIFIKASI RENTANG WAKTU PENGISIAN TERHADAP *STATE OF HEALTH*
BATERAI *VALVE-REGULATED LEAD ACID (VRLA)*


Nama Mahasiswa : Rosihan Arby Harahap

NIM : 145060301111037

Program Studi : Teknik Elektro

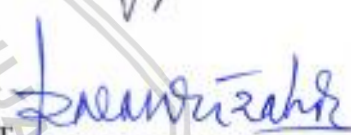
Konsentrasi : Teknik Elektronika

Komisi Pembimbing :

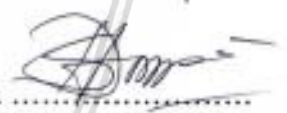
Ketua : Ir. Unggul Wibawa, M.Sc. 

Anggota : Akhmad Zainuri, S.T., M.T. 

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T. 

Dosen Penguji 2 : Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng. 

Dosen Penguji 3 : Dr-Ing. Onny Setyawati, S.T., M.T., M.Sc. 

Tanggal Ujian : 23 Juli 2018

SK Penguji : 1504 Tahun 2018

UNIVERSITAS BRAWIJAYA







*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:
Ayahanda dan Ibunda tercinta*





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 dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

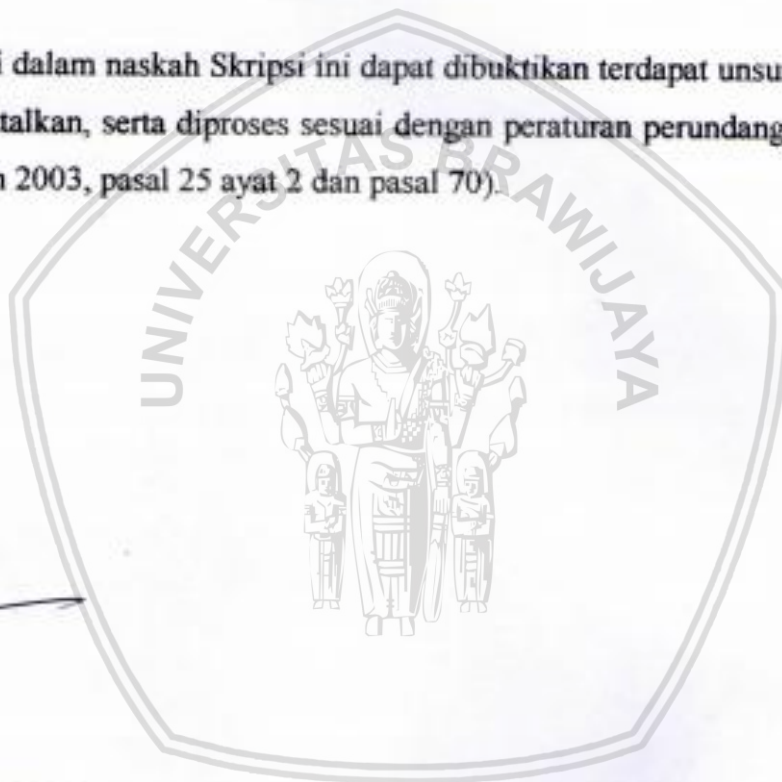
Malang, 27 Juli 2018

Mahasiswa,



ROSIHAN ARBY HARAHAP

NIM. 145060301111037





RINGKASAN

Rosihan Arby Harahap, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2018, Identifikasi Rentang Waktu Pengisian Terhadap *State Of Health* Baterai *Valve-Regulated Lead Acid* (VRLA), Dosen Pembimbing: Unggul Wibawa dan Akhmad Zainuri.

State of Health baterai adalah suatu ukuran kemampuan sebuah baterai untuk menyimpan dan menyalurkan energi listrik. Nilai Estimasi *State of Health* pada sebuah baterai adalah suatu parameter penting dalam pemakaian baterai karena layak atau tidaknya baterai untuk tetap digunakan mengacu pada nilai estimasi tersebut. Berhubungan dengan semakin majunya perkembangan baterai *Lead Acid* hingga bertambahnya penggunaan baterai *Valve-Regulated Lead Acid* (VRLA) dalam sistem kelistrikan, maka pada penelitian ini akan dibahas keterkaitan antara *State of Health* baterai dengan rentang waktu pengisian, rancang bangun sebuah alat yang mampu menghitung nilai *State of Health* sebuah baterai VRLA dan menyimpan parameter tegangan, arus dan waktu selama proses pengisian. Data tersebut diolah di *personal computer* serta diidentifikasi keterkaitan antara rentang waktu pengisian dengan nilai *State of Health* suatu baterai.

Metode yang dijadikan referensi nilai *State of Health* adalah metode perbandingan antara kapasitas akhir pengisian dan kapasitas nominal baterai tersebut. Hasil dari penelitian ini menunjukkan alat ini mampu membaca arus perubahan hingga 5 A dengan *error* pembacaan 2,828% serta sensor tegangan yang mampu membaca tegangan hingga 25 V dengan *error* pembacaan sebesar 0,257%. Hasil identifikasi menunjukkan metode perbandingan waktu pengisian baterai bekas terhadap baterai baru memiliki rentang *error* mulai dari 1,593% hingga 39,941% dengan persamaan *trendline* $y = -0,5874x + 48,167$ ($x = \text{SOH}$).

Batas *error* maksimal *State of Health* Baterai yang dapat diterima harus memiliki nilai dibawah 6% seperti yang ditunjukkan oleh Baterai Bekas 1 dan 2. Sedangkan untuk Baterai Bekas 3 dan 4 memiliki *error* melebihi 6% karena baterai yang memiliki nilai *State of Health* jauh di bawah 80% sudah dinyatakan sebagai baterai tidak layak pakai.

Kata kunci: *State of Health*, *Valve-Regulated Lead Acid* (VRLA), perbandingan kapasitas, waktu pengisian.



SUMMARY

Rosihan Arby Harahap, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, May 2018, Identification of Charging Time Range to State of Health Valve-Regulated Lead Acid (VRLA) Battery, Academic Supervisor: Unggul Wibawa and Akhmad Zainuri.

The battery state of health (SOH) is a measure of the battery's ability to store and deliver electrical energy. The Value of the SOH on a battery is an important parameter because the feasible of the battery is based on this estimated value. Due to the increasing development of Lead-acid batteries to the increasing usage of Valve-Regulated Lead Acid (VRLA) batteries in electrical systems, this study will discuss the relationship between SOH of the battery with the charging time interval, design of a tool that can calculate the value State of Health a VRLA battery also store voltage, current and time parameters during charging process. The data is processed in personal computer and then identified the relationship between the charging time interval with the value of the SOH of a battery.

The method which is used as a reference value State of Health is Coulomb Counting method which is comparison between the final charging capacity and the nominal capacity of the battery. The results of this study show that this tool is able to read the current changes up to 5A with error reading of 2,828% and voltage sensors capable of reading voltages up to 25 V with error readings of 0,257%. The results of this identification shows that the method of comparison of charging time has an error ranging from 1,593% to 39,941% with trendline's equation $y = -0,5874x + 48,167$ ($x = \text{SOH}$).

The maximum error limits of SOH Battery that can be used should be 6% as provided by the 1st and 2nd Batteries. As the Used Battery 3 and 4 have errors exceeding 6% because batteries that have values below 80% have been replaced as the battery is not feasible to used.

Keywords: State of Health, Valve-Regulated Lead Acid (VRLA), Comparison of Capacity, Comparison of Charging Time



PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim. Alhamdulillah, puji syukur Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi yang berjudul “Identifikasi Rentang Waktu Pengisian terhadap *State Of Health* Baterai *Valve-Regulated Lead Acid (VRLA)*”. Laporan ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah banyak memberikan bantuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, antara lain:

1. Bapak Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Ibu Ir. Nurussa’adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Raden Arief Setyawan, S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Ir. Unggul Wibawa M.Sc selaku Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, kritik, dan saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi.
6. Bapak Akhmad Zainuri, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, kritik, dan saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi.
7. Segenap dosen pengajar dan staff administrasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Ibu, Bapak, Adik, dan keluarga besar, atas dukungan dan doa yang telah diberikan.
9. Teman-teman Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya angkatan 2014 atas segala bantuan dan kebersamaan yang telah diberikan selama masa studi.
10. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyelesaian skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan karena kendala dan keterbatasan dalam pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap saran dan kritik yang membangun untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan

datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Mei 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
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 <i>State of Charge</i> dan <i>State of Health</i> Baterai.....	5
2.2 Baterai <i>Lead Acid</i>	7
2.2.1 <i>Charging</i> Baterai <i>Valve-Regulated Lead Acid</i>	7
2.2.2 <i>Discharging</i> Baterai <i>Valve-Regulated Lead Acid</i>	8
2.3 SKYRC IMAX B6 Mini <i>LiPo/NiMH/Pb Battery Balance Charger/Discharger</i>	8
2.4 Arduino Uno.....	9
2.4.1 <i>Analog to Digital Converter (ADC)</i>	10
2.4.2 <i>Serial Peripheral Interface (SPI)</i>	11
2.4.3 <i>Komunikasi Inter Integrated Circuit (I2C)</i>	11
2.5 Sensor Tegangan.....	12
2.6 Sensor Arus ACS712 20 A.....	13
2.7 <i>LCD Display 16x2 Characters</i>	14
2.8 <i>SD Card Data Logger</i>	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Spesifikasi Alat dan Perancangan Sistem.....	17
3.2 Perancangan Alat.....	19
3.2.1 Rangkaian Sensor Tegangan.....	19



3.2.2 Rangkaian Sensor Arus	21
3.2.3 Modul <i>LCD</i>	23
3.2.4 Modul <i>SD Card</i>	23
3.2.5 Modul DS3231 (<i>Real Time Clock</i>).....	24
3.2.6 Perancangan Perangkat Lunak	24
3.3 Pengujian Perangkat Keras	25
3.3.1 Pengujian Rangkaian Sensor Arus	26
3.3.2 Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan	26
3.3.3 Pengujian Modul <i>LCD</i>	26
3.3.4 Pengujian Modul <i>SD Card</i>	26
3.3.5 Pengujian Modul <i>RTC</i> (DS3231)	26
3.3.6 Pengujian Baterai <i>Valve-Regulated Lead Acid</i>	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Pengujian Rangkaian Sensor Arus.....	27
4.1.1 Prosedur Pengujian	27
4.1.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan	29
4.2 Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan.....	30
4.2.1 Prosedur Pengujian	30
4.2.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan	31
4.3 Pengujian Modul <i>LCD</i>	33
4.3.1 Prosedur Pengujian	33
4.3.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan	33
4.4 Pengujian Rangkaian Modul <i>SD Card</i>	34
4.4.1 Prosedur Pengujian	34
4.4.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan	34
4.5 Pengujian Modul <i>RTC</i> sebagai <i>Timer</i>	35
4.5.1 Prosedur Pengujian	35
4.5.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan	36
4.6 Pengujian Baterai <i>Valve-Regulated Lead Acid</i>	37
4.6.1 Prosedur Pengujian	37
4.6.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan	38
4.6.2.1 Hasil Pengujian dan Analisa Baterai <i>VRLA</i> Baru.....	38
4.6.2.2 Hasil Pengujian dan Analisa Baterai <i>VRLA</i> Bekas.....	42
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	55



5.1 Kesimpulan 55

5.2 Saran 56

DAFTAR PUSTAKA 57





DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi IMAX B6 <i>Battery Charger</i>	9
Tabel 2.2	Spesifikasi teknis Arduino Mega 2560.....	10
Tabel 2.3	Konfigurasi pin sensor tegangan	13
Tabel 2.4	Deskripsi konfigurasi pin sensor ACS712 30 A.....	13
Tabel 2.5	Konfigurasi pin LCD <i>Display</i> 4x20 karakter	15
Tabel 4.1	Hasil pengujian sensor arus	29
Tabel 4.2	Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan	32
Tabel 4.3	Hasil pengujian tegangan baterai baru pada saat proses pengisian	38
Tabel 4.4	Hasil pengujian arus yang masuk ke baterai baru saat proses pengisian	39
Tabel 4.5	Hasil pengujian perubahan kapasitas baterai baru saat proses pengisian.....	40
Tabel 4.6	Hasil pengujian waktu pengisian.....	41
Tabel 4.7	Hasil pengujian tegangan baterai bekas 1 pada saat proses pengisian	42
Tabel 4.8	Hasil pengujian tegangan baterai bekas 2 pada saat proses pengisian	42
Tabel 4.9	Hasil pengujian tegangan baterai bekas 3 pada saat proses pengisian	43
Tabel 4.10	Hasil pengujian tegangan baterai bekas 4 pada saat proses pengisian	43
Tabel 4.11	Hasil pengujian arus yang masuk ke baterai bekas 1 pada saat proses pengisian.....	44
Tabel 4.12	Hasil pengujian arus yang masuk ke baterai bekas 2 pada saat proses pengisian.....	45
Tabel 4.13	Hasil pengujian arus yang masuk ke baterai bekas 3 pada saat proses pengisian.....	45
Tabel 4.14	Hasil pengujian arus yang masuk ke baterai bekas 4 pada saat proses pengisian.....	46
Tabel 4.15	Hasil pengujian perubahan kapasitas baterai bekas 1 saat proses pengisian....	47
Tabel 4.16	Hasil pengujian perubahan kapasitas baterai bekas 2 saat proses pengisian....	47
Tabel 4.17	Hasil pengujian perubahan kapasitas baterai bekas 3 saat proses pengisian....	48
Tabel 4.18	Hasil pengujian perubahan kapasitas baterai bekas 4 saat proses pengisian....	48
Tabel 4.19	Hasil Perhitungan <i>State of Health</i> dan Lama Waktu Pengisian.....	49
Tabel 4.20	Nilai estimasi <i>state of health</i> seluruh baterai bekas menggunakan perbandingan kapasitas dan waktu pengisian.....	50



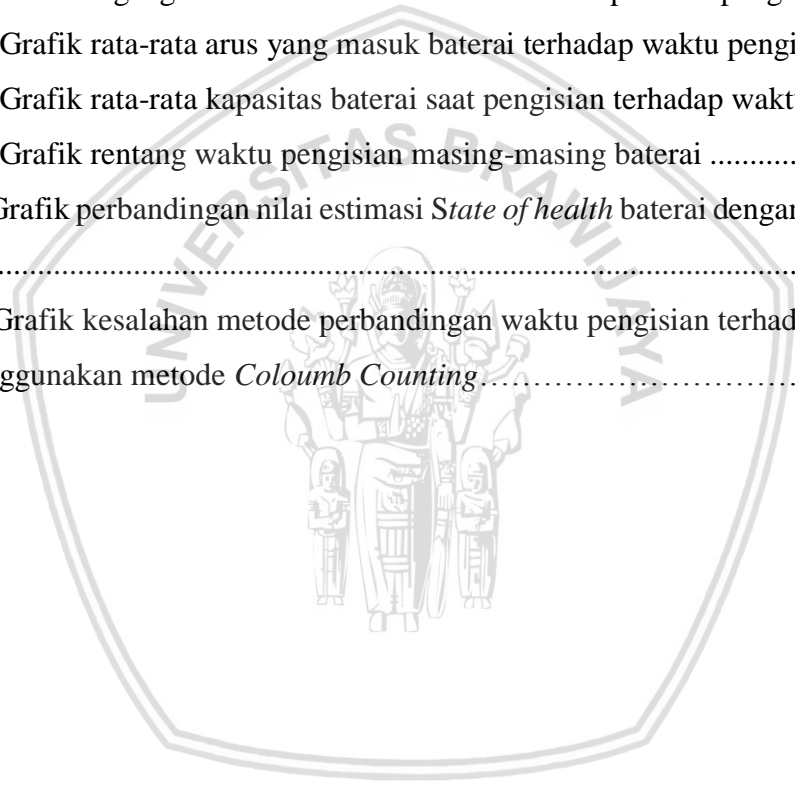


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Metode <i>Modified Constant Voltage-Limited Current Charging</i>	8
Gambar 2.2	SKYRC IMAX B6 Mini LiPo/NiMH/Pb <i>Battery Charger/Discharger</i>	9
Gambar 2.3	Bentuk fisik Arduino Uno	10
Gambar 2.4	Skema komunikasi SPI.....	11
Gambar 2.5	Skema komunikasi I2C.....	12
Gambar 2.6	Sensor tegangan	12
Gambar 2.7	Sensor ACS712 20 A.....	13
Gambar 2.8	Aplikasi sensor ACS712 20A.....	14
Gambar 2.9	LCD <i>Display</i> 16x2 karakter.....	15
Gambar 2.10	SD <i>Card Data Logger</i>	16
Gambar 3.1	Blok diagram alat.....	17
Gambar 3.2	Skematik rangkaian sensor tegangan	19
Gambar 3.3	Skematik rangkaian pembagi tegangan	20
Gambar 3.4	Diagram proses sensor tegangan	20
Gambar 3.5	Skematik rangkaian sensor arus.....	21
Gambar 3.6	Tegangan keluaran sensor terhadap arus yang terdeteksi.....	22
Gambar 3.7	Diagram proses sensor arus	22
Gambar 3.8	Skematik perancangan modul <i>LCD</i>	23
Gambar 3.9	Skematik perancangan modul <i>SD card</i>	23
Gambar 3.10	Skematik perancangan modul DS3231	24
Gambar 3.11	Diagram alir pemrograman perangkat lunak	25
Gambar 4.1	Rangkaian pengujian sensor arus ACS712 20A.....	28
Gambar 4.2	Grafik hasil pengujian rangkaian sensor arus.....	29
Gambar 4.3	Diagram blok pengujian rangkaian sensor tegangan	31
Gambar 4.4.	Grafik hasil pengujian rangkaian sensor tegangan	32
Gambar 4.5	Diagram blok pengujian modul <i>LCD</i>	33
Gambar 4.6	Hasil pengujian modul <i>LCD</i>	34
Gambar 4.7	Diagram blok pengujian modul <i>SD Card</i>	34
Gambar 4.8	Hasil pengujian modul <i>sd card</i> melalui <i>serial monitor</i>	35



Gambar 4.9	Diagram blok pengujian modul <i>RTC</i>	36
Gambar 4.10	Hasil pengujian modul <i>RTC</i> melalui <i>serial monitor</i>	36
Gambar 4.11	Blok diagram pengujian baterai <i>Valve-Regulated Lead Acid</i>	37
Gambar 4.12	Grafik tegangan rata-rata baterai <i>VRLA</i> Baru terhadap Waktu Pengisian	39
Gambar 4.13	Grafik rata-rata arus yang masuk baterai <i>VRLA</i> baru terhadap waktu pengisian	40
Gambar 4.14	Grafik Perubahan Kapasitas Rata-Rata Baterai <i>VRLA</i> Baru terhadap Waktu Pengisian.....	41
Gambar 4.15	Grafik tegangan rata-rata baterai <i>VRLA</i> terhadap waktu pengisian.....	44
Gambar 4.16	Grafik rata-rata arus yang masuk baterai terhadap waktu pengisian	46
Gambar 4.17	Grafik rata-rata kapasitas baterai saat pengisian terhadap waktu pengisian.	49
Gambar 4.18	Grafik rentang waktu pengisian masing-masing baterai	49
Gambar 4.19	Grafik perbandingan nilai estimasi <i>State of health</i> baterai dengan kedua metode	50
Gambar 4.20	Grafik kesalahan metode perbandingan waktu pengisian terhadap nilai <i>State of Health</i> menggunakan metode <i>Coloumb Counting</i>	51



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi.....	59
Lampiran 2. <i>Listing</i> Program	61
Lampiran 3. <i>Datasheet</i>	62



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi, sistem elektronik sangat sering digunakan untuk banyak aplikasi yang menunjang kehidupan manusia seperti alat telekomunikasi *portable*, perangkat multimedia, kendaraan listrik *hybrid (HEV)*, kendaraan listrik (*EV*), penyimpanan energi terbarukan (*energy harvesting*) dan penyimpan energi pada sebuah jaringan (*grid*) untuk berbagai keperluan seperti penjaga kestabilan jaringan, pembagian beban dan lain sebagainya (Murnane & Ghazel, 2017). Sistem-sistem ini harus diberi catu daya secara permanen. Catu daya tersebut berasal dari baterai yang dapat diisi ulang (*rechargeable*). Terdapat beberapa tipe baterai isi ulang yang dibedakan berdasarkan komposisi kimia, struktur penyusun, kepadatan energi dan masa pakai baterai (N. Singamsetti, 2012).

Baterai yang berada di dalam sebuah sistem harus dioperasikan dengan baik untuk memperpanjang masa pakai dan diperhatikan secara berkala untuk memastikan apakah sebuah baterai masih layak digunakan atau harus diganti dengan baterai yang baru. Sebab, kerusakan sebuah baterai dapat menyebabkan sebuah sistem berjalan tidak optimal bahkan menyebabkan kerusakan pada sistem tersebut. Kerusakan baterai dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pengisian dan pengosongan berlebihan (*overcharging/overdischarging*) (Le & Tang, 2011).

Salah satu aspek yang sangat penting dari sebuah baterai adalah *State of Health (SOH)*. *State of Health* adalah perhitungan kualitatif kemampuan baterai untuk menyimpan dan menyalurkan energy (Murnane & Adel, 2017). Terdapat berbagai macam metode untuk mengestimasi *State of Health* dari sebuah baterai, namun yang paling sering digunakan adalah metode tahanan dalam (*internal impedance*) dan *coulomb counting*. Kelemahan dari metode tahanan dalam adalah baterai harus dikeluarkan dari sebuah sistem terlebih dahulu agar dapat dilakukan pengujian (*offline*).

Hal yang dapat terlihat ketika melakukan pengisian dan pengosongan baterai adalah lamanya waktu pengisian dan pengosongan baterai. Hal ini sejalan dengan metode *coulomb counting* yang merupakan hasil dari integral arus terhadap waktu. Baterai tersebut harus diuji dengan *testbench* yang mampu menghitung secara langsung nilai *State of Health* baterai dengan metode *coulomb counting*.

Testbench yang sudah pernah diteliti sebelumnya hanya mampu mengukur tegangan *discharge* secara periodik setiap 10 menit sekali (Fahanani, 2014). *Testbench* lain yang sudah pernah diteliti dan dibuat juga hanya mampu mengumpulkan parameter baterai seperti arus

charge/discharge, tegangan dan suhu yang digunakan hanya untuk pengkarakterisasian baterai (Cossoli, 2014). Kedua *testbench* di atas melakukan perhitungan *State of Health* dengan bantuan *Personal Computer*.

Penelitian dalam skripsi ini membahas tentang desain sebuah alat penguji (*testbench*) baterai yang dapat mengisi dan mengosongkan baterai serta dapat melakukan pengambilan data arus, tegangan dan waktu. Desain alat penguji ini meliputi alat pengisi dan pengosong baterai (*charger/discharger*), sensor arus, tegangan dan temperature, alat pencatat waktu (*timer*), mikrokontroler dan *personal computer*. Data yang diambil berasal dari lima buah baterai yang memiliki kondisi berbeda. Baterai pertama merupakan baterai yang baru dan belum pernah dipakai sedangkan baterai yang kedua hingga kelima sudah pernah dipakai sebelumnya (dilihat dari *State of Health*). Waktu pengisian kelima baterai tersebut akan dibandingkan dan melengkapi pengestimasiian *State of Health* yang telah ditentukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diurai diatas maka, rumusan masalah ditekankan pada:

1. Bagaimana pengaruh lamanya waktu pengisian baterai terhadap *State of Health* baterai.
2. Berapa besar perbedaan hasil perhitungan *State of Health* berdasarkan perbandingan kapasitas dengan perbandingan lamanya waktu pengisian.

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya bahasan yang terdapat pada perancangan alat pengujian (*testbench*) dan pengestimasiian *State of Health* ini, maka penelitian ini akan dibatasi oleh berbagai aspek:

1. Menentukan estimasi *State of Health* berdasarkan nilai kapasitas nominal dan kapasitas sebenarnya (berdasarkan jumlah arus yang masuk saat proses pengisian).
2. Menggunakan alat pengisian dan pengosongan baterai yang tersedia di pasaran dan tidak membahas rangkaian yang ada di dalamnya.
3. Tidak membahas rangkaian catu daya.
4. Tidak suhu pengisian dan pengosongan.
5. Baterai diisi dengan *charge rate* sebesar 0,5 C.
6. Baterai dikosongkan dengan arus *discharge* sebesar 0,5 A.
7. Baterai yang digunakan berjenis *Valve Regulated Lead Acid (VRLA)* dengan merk dan tipe yang sama serta berkapasitas 3 Ah.
8. Baterai diisi dengan menggunakan metode *Modified Constant Voltage-Limited Current Charging*.

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat sebuah alat pengujian (*testbench*) baterai, pengestimasian nilai *State of Health* serta mencatat waktu pengisian.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu dapat melihat perbedaan waktu pengisian dan pengosongan antara lima buah baterai yang memiliki perbedaan *State of Health*. Nantinya perbedaan waktu ini dapat dijadikan sebagai acuan awal apakah sebuah baterai masih layak dipakai atau sudah harus diganti dengan baterai yang baru.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of Charge* dan *State of Health* Baterai

Baterai telah mendapat banyak manfaat dari kemajuan teknologi, memungkinkan kepadatan daya yang cukup untuk digunakan dalam kendaraan penggerak listrik seperti kendaraan listrik *hybrid*. Salah satu parameter utama yang mewakili kapasitas yang tersedia dalam baterai adalah baterai *State of Charge (SOC)* (Trinh, 2012)

State of Charge adalah sebuah estimasi yang dinyatakan dalam bentuk persentase, mengacu pada jumlah kapasitas yang tersedia dalam baterai. *State of Charge* sangat penting untuk pemodelan dan penanganan baterai. Jika *State of Charge* 100%, mencerminkan baterai penuh dan jika *State of Charge* 0%, mencerminkan baterai kosong (Prashanth dkk, 2014).

Dalam pengestimasiian *State of Charge* terdapat banyak metode yang bisa digunakan, salah satunya *Coulomb Counting*. *Coulomb Counting* menggunakan akumulasi arus yang mengalir masuk dan keluar dari baterai. Metode *Coulomb Counting* sering juga disebut sebagai metode penghitungan *ampere hour*. Metode ini, yang menggunakan pemantauan dan penghafalan yang lama, dianggap tidak praktis untuk estimasi *State of Charge* secara *real-time* namun penting dalam memverifikasi keakuratan hasil estimasi dari metode lain. Secara konvensional, uji debit dengan *Coulomb Counting* menyajikan referensi standar untuk menghitung keakuratan metode estimasi lainnya. (Ng Kong-Soon, 2009).

Metode *Coulomb Counting* menggunakan integrasi arus yang masuk atau keluar baterai terhadap waktu pengisian/pengosongan baterai. Secara matematis dapat dihitung dengan Persamaan (2-1) (Murnane & Ghazel, 2017):

$$SOC_{(t)} = SOC_{(t_0)} + \frac{1}{C_{rated}} \int_{t_0}^{t_0+\tau} (I_{batt} - I_{loss}) dt \dots\dots\dots(2-1)$$

dengan:

$SOC_{(t)}$: Nilai *State of Charge* pada waktu t (%).

$SOC_{(t_0)}$: Nilai *State of Charge* pada awal waktu (%).

C_{rated} : Kapasitas baterai (As).

τ : Waktu pengisian/pengosongan (s).

I_{batt} : Arus yang mengalir menuju/meninggalkan baterai (A).

I_{loss} : Arus rugi-rugi (A).

Nilai arus baterai akan bertanda positif jika arus menuju baterai dan akan bertanda negatif jika arus mengalir keluar dari baterai.

State of Health (SOH) adalah sebuah parameter yang merupakan ukuran kemampuan baterai untuk menyimpan dan menyalurkan energi listrik, dibandingkan dengan baterai baru (Murnane & Adel, 2017). *State of Health* merefleksikan bagaimana kondisi baterai secara umum. Terdapat dua metode yang sering digunakan untuk mengestimasi *State of Health* yaitu metode tahanan dalam (*Internal Resistance*) dan kapasitas baterai. Berkurangnya nilai *State of Health* hingga 80% biasanya merupakan sebuah indikasi bahwa baterai tersebut sudah tidak layak pakai (*end of life*) (PowerThru, ____).

State of Health yang menggunakan metode tahanan dalam dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-2) (Le & Tang, 2011):

$$SOH = \left(\frac{R_i}{R_0}\right) \times 100\% \dots \dots \dots (2-2)$$

dengan:

SOH : Nilai *State of Health* (%).

R_i : Tahanan dalam baterai pada pengukuran ke i (Ω).

R_0 : Tahanan dalam baterai pada pengukuran pertama (Ω).

Pada metode lainnya yang menggunakan kapasitas baterai (*Coulomb Counting*), *State of Health* dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-3) (Le & Tang, 2011):

$$SOH = \left(\frac{C_i}{C_0}\right) \times 100\% \dots \dots \dots (2-3)$$

dengan:

SOH : Nilai *State of Health* (%).

C_i : Kapasitas baterai pada pengukuran ke i (Ah).

C_0 : Kapasitas dalam baterai pada pengukuran pertama (Ah).

Penentuan kapasitas baterai pada pengukuran ke i dapat dilakukan dengan cara menghitung jumlah arus yang masuk dikali dengan lamanya waktu pengisian. Hal ini sesuai dengan persamaan (2-4) (Murnane & Adel, 2017):

$$C_i = \int_{t_0}^{t_0+t} I dt \dots \dots \dots (2-4)$$

dengan:

C_i : Kapasitas baterai pada pengukuran ke i (As)



- t_0 : Waktu awal pengisian (s).
- t : Waktu berakhirnya pengisian (s).
- I_b : Arus yang mengalir menuju/meninggalkan baterai (A).

Berdasarkan persamaan di atas dapat dilakukan perhitungan dengan pendekatan notasi sigma sesuai dengan persamaan (2-5) (Darmayasa, 2016):

$$C_i = \sum_{i=0}^t I_{(t_i)} t_i \dots\dots\dots(2-5)$$

dengan:

- C_i : Kapasitas baterai pada pengukuran ke I (As)
- t_i : Waktu pada detik ke i (s).
- I_t : Arus yang mengalir menuju/meninggalkan baterai pada detik ke i (A).

2.2 Baterai Lead Acid

Baterai *Lead Acid* atau biasa disebut aki merupakan salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbal (*lead acid*) sebagai bahan kimianya. Secara umum terdapat dua jenis baterai *lead acid*, yaitu *Starting Battery* dan *Deep Cycle Battery*. *Starting Battery* adalah baterai dirancang mampu menghasilkan energi (arus listrik) yang tinggi dalam waktu singkat sehingga dapat menghidupkan mesin seperti mesin kendaraan. Dengan kata lain, memerlukan arus listrik yang tinggi untuk menghidupkan mesin. Sedangkan *Deep Cycle Battery* adalah baterai yang dirancang untuk menghasilkan arus listrik yang stabil dalam jangka waktu yang lama (Utomo, 2015).

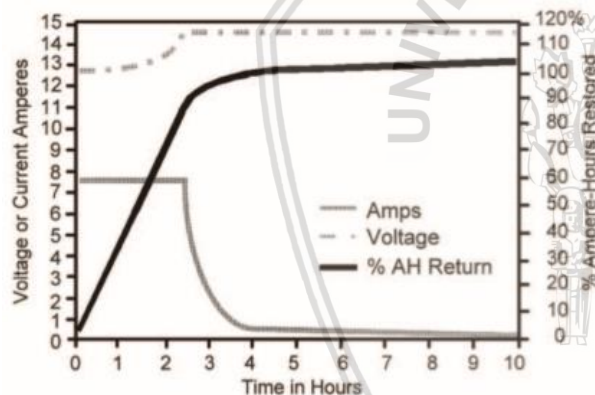
Selain kedua tipe tersebut, baterai dapat juga diklasifikasikan menjadi 2 yaitu *Flooded Lead Acid Battery* dan *Valve-Regulated Lead Acid Battery (VRLA)*. Baterai tipe *Flooded Lead Acid Battery* biasa disebut sel basah (*wet cell*). Disebut baterai basah karena sel-sel dalam baterai tenggelam dalam cairan elektrolit dan jika cairannya kurang harus ditambahkan. *Flooded Lead Acid Battery* pada setiap selnya memiliki katup untuk mengisi cairan elektrolit (Trinh, 2012). Sedangkan *Valve-Regulated Lead Acid Battery* adalah baterai yang didesain agar cairan elektrolitnya tidak berkurang baik karena bocor maupun menguap. Secara fisik baterai jenis ini disegel oleh pabrik, sehingga yang terlihat dari luar hanyalah terminal positif dan negatifnya saja. Tetapi baterai jenis ini memiliki katup ventilasi yang akan terbuka hanya pada tekanan yang ekstrim untuk membuang gas hasil dari reaksi kimia. Karena tidak ada katup untuk mengisi cairan



elektrolit, baterai jenis ini dikenal sebagai baterai bebas perawatan/*Maintenance-Free Battery (MF Battery)* (Wu dkk, 2011)

2.2.1 Charging Baterai Valve-Regulated Lead Acid

Pengisian baterai *Valve-Regulated Lead Acid* dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti *Single-Rate Constant Current Charging*, *Multi-Rate Constant Current Charging*, *Taper Current Charging*, *Constant Voltage Charging* dan *Modified Constant Voltage-Limited Current Charging*. Dari berbagai metode tersebut, metode yang direkomendasikan adalah metode *Modified Constant Voltage-Limited Current Charging* (C&D Technologies, Inc, 2011). Metode ini pada dasarnya adalah sebuah sumber tegangan teratur yang arusnya terbatas Sebagaimana yang terlihat pada *Gambar 2.1*, tegangan pengisian melengkung ketika arus yang diminta oleh baterai melampaui batas arus *charger*. Ketika *SOC* dan tegangan baterai meningkat dalam fase pengisian, permintaan arus oleh baterai menurun dibawa batas arus *charger* dan tegangan pengisian akan naik sesuai dengan apa yang telah diatur dalam desain alat pengisian.



Gambar 2.1 Metode *Modified Constant Voltage-Limited Current Charging*

Sumber: C&D Technologies, Inc (2011,p.15)

2.2.2 Discharging Baterai Valve-Regulated Lead Acid

Dalam fase *discharge* juga terdapat aturan yang mengatur besarnya arus *discharge* yang direkomendasi. Arus *discharge* sering dinyatakan sebagai *C-rate*. *C-rate* digunakan untuk optimalisasi daya tahan baterai, yang seringkali sangat berbeda antara baterai. *C-rate* adalah ukuran jumlah arus relatif yang dilepaskan terhadap kapasitas maksimumnya. Misalnya untuk *C-rate* 1 C berarti arus yang keluar akan mengeluarkan seluruh kapasitas baterai dalam 1 jam. Untuk baterai berkapasitas 100 Ah, dengan *C-rate* sebesar 1 C, setara dengan arus *discharge* 100 A. Tingkat 5 C untuk baterai ini adalah 500 A, dan tingkat C/2 adalah 50 A (*MIT Electric Vehicle Team*, 2008).

2.3 SKYRC IMAX B6 Mini LiPo/ NiMH/Pb Battery Charger/ Discharger

Charger dan *balancer* dengan pemantau tegangan masukan untuk melindungi baterai. *Charger* Lipo adalah *charger* yang cepat untuk semua macam baterai RC, dengan penyeimbang untuk baterai Li-ion / *Polymer*, baterai Ni-MH / Cd, dan baterai Pb. Berbagai macam fungsi penyimpanan arus muatan memungkinkan arus penyimpanan yang aman.



Gambar 2.2 SKYRC IMAX B6 Mini LiPo/ NiMH/Pb Battery Charger/ Discharger

Sumber: Banggood (2015,p.1)

Fitur: mikroprosesor pengontrol, sensitivitas puncak delta, *balancing* sel secara individu, berbagai macam nominal arus pengisian, fungsi penyimpanan, memungkinkan penyimpanan arus aman, fungsi batas waktu, pemantauan tegangan masukan. data penyimpanan (simpan hingga 5 *pack* memori), *break in* dan *cycling* baterai (SKYRC Technology Co, Ltd, 2014)

Tabel 2.1

Spesifikasi SKYRC IMAX B6 Battery Charger

SKY RC IMAX B6 Battery Charger	
Tegangan Input	11 ~ 18V
Daya Sirkuit Pengisian Maksimal	50W
Daya Sirkuit Pengosongan Maksimal	5W
Arus Pengisian	0.1 ~ 5.0A
Arus Pengosongan	0.1 ~ 1.0A
Sel NiMH/NiCd	1 ~ 15
Sel Pb	1 ~ 10
Tegangan Baterai Pb	2 ~20V
Berat	277 g
Dimensi	133x87x33mm

Sumber: banggood.com (2015,p.1)

Pengisi daya ini memiliki steker *charger* JST-XH, yang membuatnya cocok dengan Zippy, HXT, Loong Max dan paket apapun dengan adaptor JST. *Power supply* tidak disertakan.

2.4 Arduino Uno

Arduino Uno adalah *board* berbasis mikrokontroler pada ATmega328. *Board* ini memiliki 14 *digital input/pin output* (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output *PWM*), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi *USB, port* listrik tombol reset. Pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel *USB* atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor *AC -DC* atau baterai untuk menggunakannya (J Call Quer, 2014)



Gambar 2.3 Bentuk Fisik Arduino Uno

Sumber: Arduino (2013,p.1)

Tabel 2.2

Spesifikasi Arduino Uno

Mikrokontroler	Atmega328
Tegangan Operasi	5 Volt
Input Tegangan	7 - 12 Volt
Pin I/O Digital	14
Pin Analog	6
Arus DC tiap pin I/O	50 mA
Arus DC ketika 3.3	50 mA
Memori Flash	32 KB
SRAM	2 KB

Sumber: J Call Quer (2014,p.2)

2.4.1 Analog Digital Converter (ADC)

Analog to Digital Converter (ADC) adalah sebuah rangkaian elektronika yang dapat mengubah besaran analog menjadi besaran digital. Pada setiap sensor yang berbasis mikrokontroler (sebagai pusat pengolah data) diperlukan adanya rangkaian *Analog to Digital Converter* untuk mengubah sinyal yang diterima oleh sensor untuk menjadi besaran digital supaya

sinyal tersebut bisa diterjemahkan atau dibaca mikrokontroler. Sensor- sensor disini dapat berupa sensor suhu, sensor level, sensor tekanan, dan lain- lain (Sagita dkk, 2013). Untuk mendapatkan nilai tegangan ADC digunakan persamaan (2-6) (Kleitz.W, 2011) sedangkan untuk mendapatkan resolusi ADC digunakan persamaan (2-7) (Kebbaty. Y, Ndaw.A, 2016):

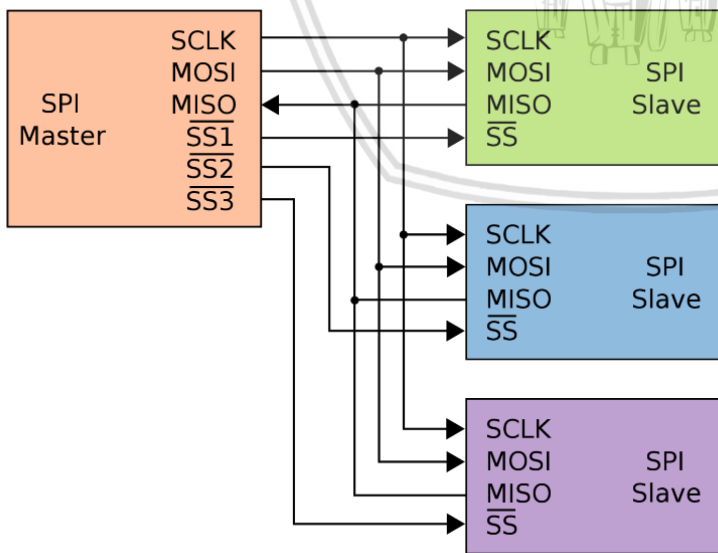
$$V_{ADC} = \left(\frac{\text{Nilai Digital}}{2^n} \right) V_{Ref} \dots \dots \dots (2-6)$$

$$\text{Resolusi ADC} = \left(\frac{V_{max} - V_{min}}{2^n - 1} \right) V_{Ref} \dots \dots \dots (2-7)$$

2.4.2 Serial Peripheral Interface (SPI)

Serial Peripheral Interface (SPI). SPI adalah protokol komunikasi secara *synchronous* antara dua perangkat (*master* dan *slave*), yang memisahkan antara jalur data dan jalur detak (Wardana I., 2016).

Pada *Gambar 2.5*, ditunjukkan komunikasi antara *master* dan *slave* pada komunikasi SPI. *Master* menyediakan *clock* dan data dalam bentuk bit pada pin *master-out-slave-in* (MOSI) dimana data tersebut ditransfer satu bit per pulsa *clock* menuju pin MOSI pada *slave*. Data dalam bentuk bit juga disalurkan dari *slave* ke *master* melalui pin *master-in-slave-out* menuju pin MISO pada *master*. Biasanya pin *SS* (*slave select*) diberi *ground* (*active low*) untuk menjadikannya sebagai *slave*.

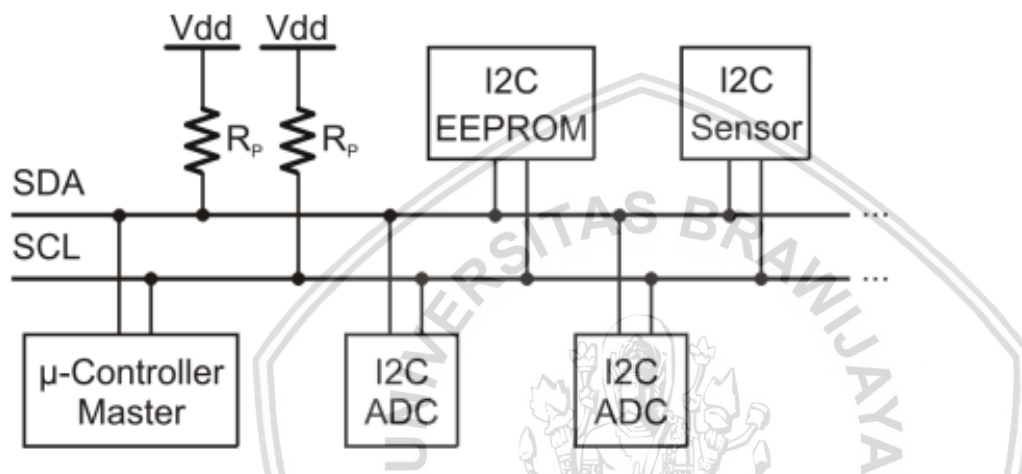


Gambar 2.4 Skema komunikasi SPI

Sumber: Rangka (2011,p.1)

2.4.3 Komunikasi *Inter Integrated Circuit (I2C)*

I2C atau *Inter-Integrated Circuit* sendiri merupakan cara komunikasi data secara serial diantara perangkat *I2C* dengan dua jalur. Pada protokol *I2C*, data dikirim secara serial melalui jalur *SDA*, sedangkan untuk *clock* dikirim melalui jalur *SCL*. Jenis komunikasi yang digunakan pada penelitian ini untuk menghubungkan modul *LCD* yang ada yaitu menggunakan komunikasi *I2C* (Kusna.dkk, 2018).



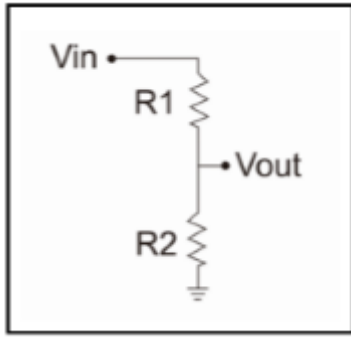
Gambar 2.5 Skema komunikasi *I2C*

Sumber: Parallax Inc. (2017,p.1)

2.5 Sensor Tegangan (*Arduino Voltage Sensor*)

Sensor yang kecil dan sangat bermanfaat untuk mendeteksi tegangan DC dengan faktor pembagi *resistive divider*. Modul ini bekerja berdasarkan prinsip *resistive divider*, membuat tegangan yang akan dideteksi berkurang 5 kali lipat. Tegangan input analog pada Arduino 0-5 V, sehingga tegangan maximum yang dapat dideteksi oleh sensor adalah $5 \times 5 \text{ V} = 25\text{V}$. Jika menggunakan sistem tegangan 3,3v, maka tegangan maximum yang dapat dideteksi adalah sebesar $5 \times 3,3\text{v} = 16,5 \text{ V}$ (Henry's Bench, _____).

AVR Chip pada Arduino memiliki *ADC* 10-bit, jadi modul ini memiliki ketelitian 0,00489 V (5 V/1023). Sehingga nilai tegangan minimum yang dapat dideteksi adalah $5 \times 0,00489 \text{ V} = 0,02445 \text{ V}$ (bukan 0 V) Modul ini juga dilengkapi dengan terminal baut sehingga pemasangan kabel menjadi lebih mudah dan aman



Gambar 2.6 Sensor Tegangan

Sumber: Elektrokita (2016,p.1)

Tabel 2.3
Konfigurasi pin sensor tegangan

Input	
GND	Ground (-)
VCC	Sumber Tegangan (+)
Output	
S	Data Analog
-	Ground (-)
+	Sumber Tegangan (+)

Sumber: Henry's Bench (____,p.1)

Untuk mendapatkan konstanta yang diperlukan dalam mengkonversi nilai ADC menjadi nilai yang sesuai dengan nilai yang ditunjukkan oleh voltmeter (kalibrasi) dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2-7) (Arduino, 2013) yaitu:

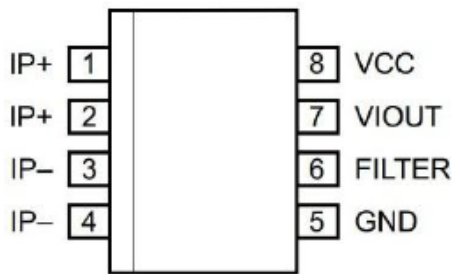
$$Konstanta\ Sensor\ Tegangan = \frac{Tegangan\ Maksimum\ Terbaca\ Sensor}{Nilai\ ADC\ Maksimum} \dots\dots\dots(2-8)$$

2.6. Sensor Arus ACS712 5 A

Sensor arus ACS712-5 A adalah sensor arus yang digunakan untuk mendeteksi arus DC maupun AC pada industri, komersial dan sistem komunikasi. Aplikasi sensor arus ini secara khusus digunakan pada kontrol motor, deteksi dan manajemen beban listrik, *switchmode* pada *power supply*, dan proteksi *overcurrent*. Sensor arus ini bekerja berdasarkan prinsip *hall effect*.



Ketika arus mengalir melalui jalur tembaga di dalam sensor, medan magnetik yang terbentuk akan diubah oleh *Hall IC* menjadi tegangan yang proporsional (Allegro MicroSystem, 2007).



Gambar 2.7 Sensor ACS712 5 A

Sumber: Allegro MicroSystem, Inc. (2007,p.3)

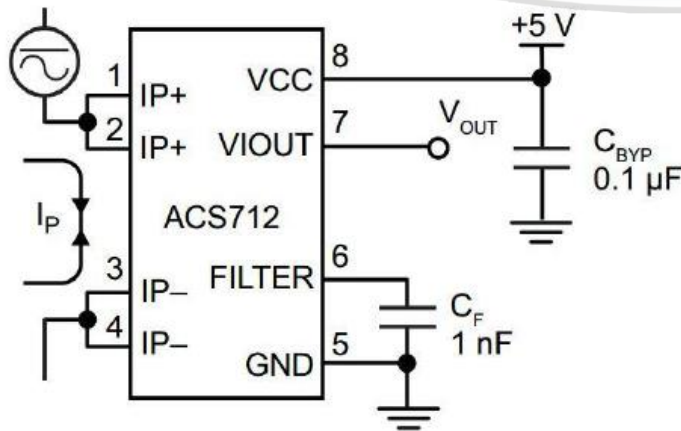
Tabel 2.4

Deskripsi Konfigurasi Pin Sensor ACS712 5 A

No	Nama	Deskripsi
1 dan 2	IP+	Terminal untuk sampling arus (<i>fused internally</i>)
3 dan 4	IP-	Terminal untuk sampling arus (<i>fused internally</i>)
5	GND	Terminal sinyal <i>ground</i>
6	FILTER	Terminal kapasitor eksternal untuk mengatur <i>bandwidth</i>
7	VIOU	Keluaran sinyal analog
	VCC	Terminal catu daya

Sumber: Allegro MicroSystem (2007,p.3)

Ketika arus yang mengalir meningkat pada jalur konduksi utama (dari pin 1 dan 2, ke pin 3 dan 4), yang mana jalur tersebut digunakan untuk sampling arus memiliki, maka keluaran sensor arus akan menjadi *slope* positif ($> V_{IOU} (Q)$). Aplikasi secara umum sensor arus ACS712-5 A ditunjukkan dalam gambar 2.8.



Gambar 2.8 Aplikasi Sensor ACS712 20 A

Sumber: Allegro MicroSystem (2007,p.1)

Untuk mendapatkan nilai arus yang sesuai dengan nilai yang tertera pada amperemeter (kalibrasi) maka dilakukan pengkonversian nilai ADC yang diterima mikrokontroler dengan persamaan (2-8) (Arduino, 2013) yaitu:

$$I_{sensor} = \frac{\left(\frac{\text{Nilai ADC}}{\text{Nilai ADC Maksimum}} \times V_{ref}\right) - \text{Tegangan saat } I=0 \text{ A}}{\text{Sensitivitas Sensor}} \dots\dots\dots(2-9)$$

2.7. LCD Display 16x2 Characters

LCD adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Pada LCD berwarna semacam monitor terdapat banyak sekali titik cahaya (*pixel*) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai sebuah titik cahaya. Walau disebut sebagai titik cahaya, namun kristal cair ini tidak memancarkan cahaya sendiri. Sumber cahaya di dalam sebuah perangkat LCD adalah lampu neon berwarna putih di bagian belakang susunan kristal cair. Titik cahaya yang jumlahnya puluhan ribu bahkan jutaan inilah yang membentuk tampilan citra. Kutub kristal cair yang dilewati arus listrik akan berubah karena pengaruh polarisasi medan magnetik yang timbul dan oleh karenanya akan hanya membiarkan beberapa warna diteruskan sedangkan warna lainnya tersaring (Khahaji, 2017)



Gambar 2.9 LCD Display 16x2 karakter

Sumber: Seeed Studio (____,p.1)

Tabel 2.5
Konfigurasi pin LCD Display 16x2 karakter

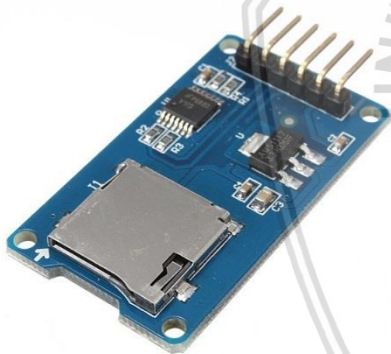
Nomor Pin	Simbol	Level	Deskripsi
1	Vss	0V	Ground
2	Vdd	5V	Tegangan Suplai untuk Logika
3	V0	(variable)	Tegangan Operasi untuk LCD
4	RS	H/L	H: Data, L: Kode Instruksi
5	R/W	H/L	H: Read (MPU->Modul), L: Write (MPU->Modul)
6	E	H,H->L	Sinyal Chip Enable

7	DB0	H/L	Data bit 0
8	DB1	H/L	Data bit 1
9	DB2	H/L	Data bit 2
10	DB3	H/L	Data bit 3
11	DB4	H/L	Data bit 4
12	DB5	H/L	Data bit 5
13	DB6	H/L	Data bit 6
14	DB7	H/L	Data bit 7
15	LED+		Anoda LED Latar
16	LED-		Katoda LED Latar

Sumber: Revolution Education, Ltd. (2014,p.2)

2.8. SD Card Data Logger ‘

SD Card Data Logger adalah sebuah perangkat yang mampu menerima dan menyimpan data ke dalam sebuah kartu *micro SD*. Perangkat ini menggunakan komunikasi tipe SPI untuk dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler, dalam hal ini Arduino Mega 2560.



Gambar 2.10 SD Card Data Logger

Sumber: Indoware (2013,p.1)

Konfigurasi Pin dari *Data logger* ini adalah :

GND : *Ground* (0V)

VCC : *Power supply* (5V)

MISO : *Master Input-Slave Output*

MOSI : *Master Output-Slave Input*

SCK : *Master Serial Clock*

CS : *Chip Select*

Fitur modul adalah sebagai berikut:

1. Mendukung kartu *micro SD*, kartu *micro SDHC* (kartu kecepatan tinggi).
2. Tingkat konversi papan sirkuit yang antarmuka level untuk 5 V atau 3,3 V.
3. Power supply adalah 4,5 V – 5,5 V, regulator tegangan 3,3 V papan sirkuit.
4. Komunikasi antarmuka SPI adalah antarmuka standar.
5. Empat M2 lubang sekrup posisi untuk kemudahan instalasi.



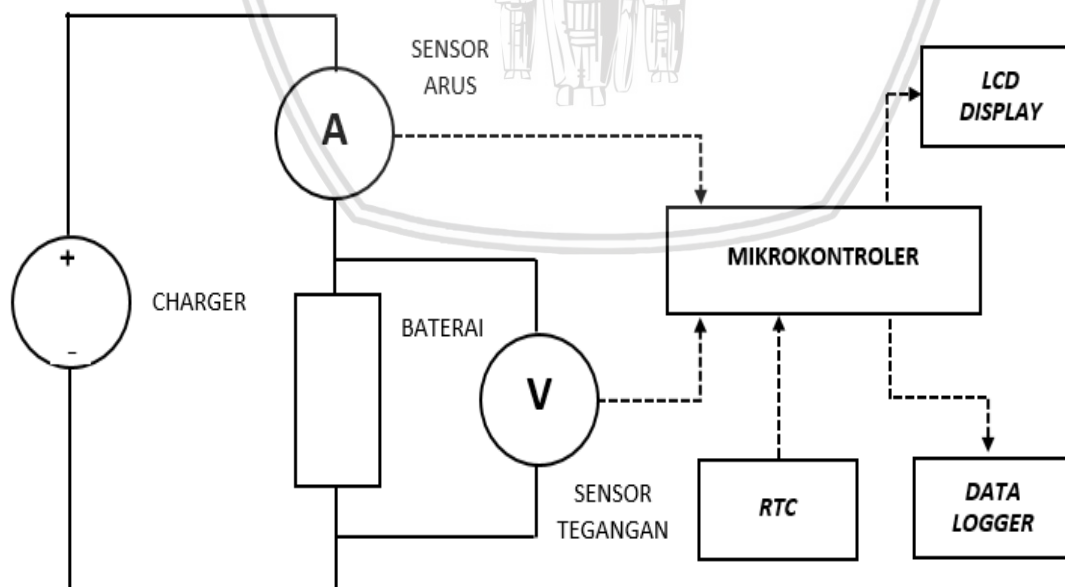
BAB III

METODE PENELITIAN

Penyusunan skripsi ini berdasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan realisasi alat agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dimana alat dapat melakukan pengukuran arus, tegangan dan waktu ketika fase pengisian/pengosongan pada alat pengujian (*testbench*) baterai *Valve-Regulated Lead Acid*, alat juga dapat melakukan mekanisme penyimpanan *data logger* dari proses pengukuran. Setelah proses pengukuran, alat juga dapat menentukan nilai *State of Health* dari baterai. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu metode penelitian agar perencanaan dan realisasi alat dapat dilakukan. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang dirancang adalah penentuan spesifikasi alat, perancangan dan pembuatan alat, pengujian alat, dan pengambilan kesimpulan.

3.1. Spesifikasi Alat Dan Perancangan Sistem

Spesifikasi alat dan perancangan sistem secara keseluruhan perlu ditentukan terlebih dahulu sebagai acuan untuk mendapatkan sistem yang sesuai dengan keinginan dan dapat bekerja dengan efektif serta efisien. Adapun blok diagram keseluruhan sistem ditunjukkan dalam gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok diagram alat

Adapun penjelasan mengenai diagram blok yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1 adalah sebagai berikut:

1. *Power supply* merupakan jalur tenaga listrik yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik AC menuju rangkaian pengisi/pengosong baterai yang sebelumnya melalui adapter sehingga menjadi tenaga listrik DC.
2. Sensor arus dan sensor tegangan merupakan rangkaian yang digunakan agar data dari sensor arus dan sensor tegangan dapat diolah oleh mikrokontroler.
3. RTC (*Real-time Clock*) digunakan sebagai alat penghitung waktu (*timer*) selama proses pengisian/pengosongan.
4. Mikrokontroler digunakan sebagai pengolah data.
5. *Charger/discharger* merupakan rangkaian pengisi dan pengosong baterai.
6. LCD 16 x 2 digunakan untuk menampilkan data arus, tegangan dan waktu pengisian/pengosongan yang selanjutnya akan menampilkan nilai estimasi *State of Health* pada akhir proses.
7. Setiap data sensor yang dibaca mikrokontroler akan disimpan di kartu memori (*data logger*).
8. Baterai adalah objek yang akan diuji dalam penelitian ini.

Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

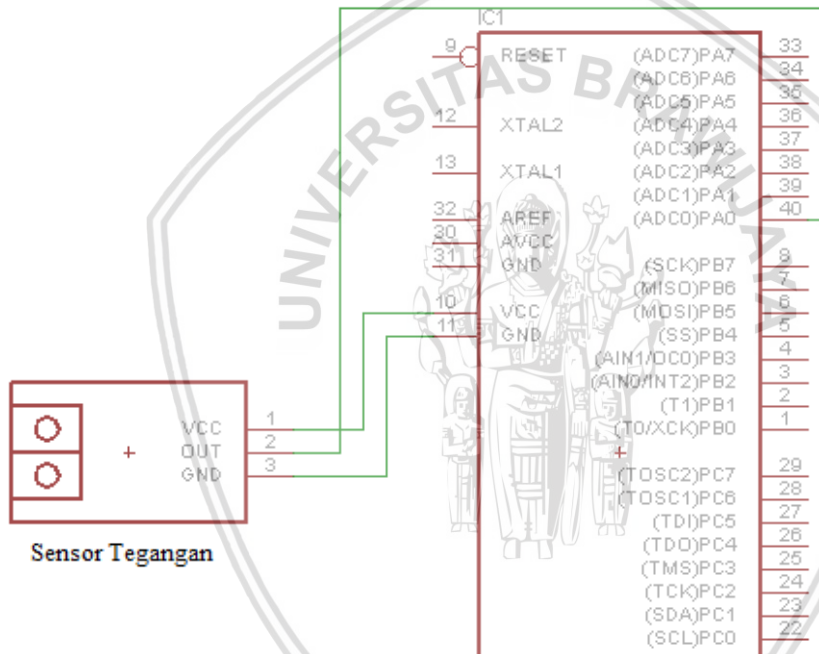
1. Mampu mendeteksi perubahan arus dengan rentang 0A – 5 A dan tegangan dengan rentang 0V – 25 V.
2. Menggunakan sensor arus ACS712 – 5 A.
3. Sensor tegangan menggunakan konsep pembagi tegangan dalam hal ini modul sensor yang ada di pasaran.
4. Menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3 sebagai pemroses data pada *testbench*.
5. LCD 16 x 2 sebagai penampil data arus, tegangan, waktu, dan hasil perhitungan *State of Health* pada akhir proses. LCD ini menggunakan modul I2C untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler.
6. Modul *SD card* digunakan sebagai penyimpan data yang telah diproses mikrokontroler. Alat yang digunakan merupakan sebuah modul yang menggunakan komunikasi SPI.
7. Menggunakan modul RTC DS3231 sebagai penghitung waktu.
8. Rangkaian pengisi/pengosong baterai yang digunakan adalah SKYRC IMAX B6 Mini yang mampu mengisi baterai dengan arus 0 – 6 A, mengosongkan baterai dengan arus 0-2 A. Jumlah sel baterai *Valve-Regulated Lead Acid* dapat diisi/dikosongkan maksimal sebanyak 10 sel.

3.2. Perancangan Alat

Perancangan alat dibagi menjadi dua bagian yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras meliputi rangkaian sensor tegangan, rangkaian sensor arus, modul *LCD*, modul *SD card*, modul *RTC* dan rangkaian alat secara keseluruhan.

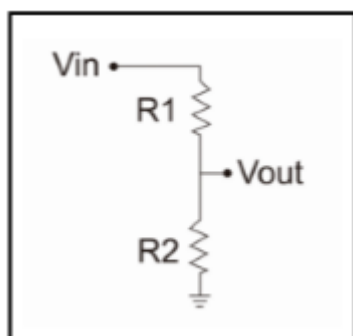
3.2.1. Rangkaian Sensor Tegangan

Rangkaian sensor tegangan dirancang agar dapat mengukur tegangan baterai. Tegangan baterai ini digunakan untuk mengetahui apakah baterai telah terisi penuh atau telah kosong. Hal ini dilakukan untuk menjaga agar baterai tidak *overcharge* atau *overdischarge*. Skematik rangkaian sensor tegangan dapat dilihat dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skematik rangkaian sensor tegangan.

Sensor tegangan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan konsep pembagi tegangan yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



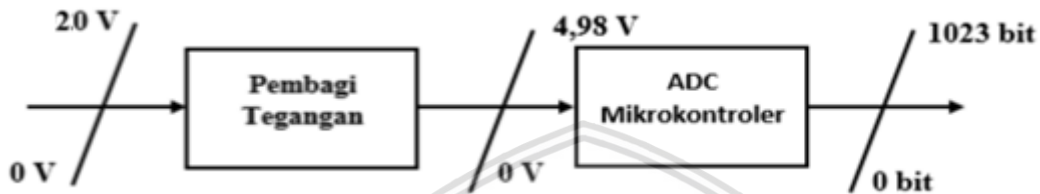
Gambar 3.3 Skematik rangkaian pembagi tegangan.

Sumber: Elektrokita (2016,p.1)

Dari skematik pada Gambar 3.3 memiliki penyelesaian rumus dengan fungsi Persamaan (3-1) (Teknik Elektronika, _____) berikut:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \dots \dots \dots (3-1)$$

Sensor tegangan dirancang agar mikrokontroler dapat memproses tegangan yang besarnya 0V sampai 25 V. Pemrosesan nilai dari pembagi tegangan ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram proses sensor tegangan.

Tegangan dengan nilai 4,98V merupakan tegangan masukan maksimal ADC mikrokontroler yang didapatkan dari Persamaan (3-2) (Kleitz W, 2011).

$$V_{inADC} = V_{ref} \left(\frac{2^n - 1}{2^n} \right) \dots \dots \dots (3-2)$$

Dimana $V_{ref} = 5 V$ dan $n =$ jumlah bit yang digunakan, sehingga dari perhitungan didapatkan

$$V_{inADC} = 5 \left(\frac{2^{10} - 1}{2^{10}} \right) = 5 \left(\frac{1023}{1024} \right) = 4,98 V$$

Sedangkan untuk menentukan resolusi ADC kita gunakan Persamaan (3-3) (Kebatti. Y, Ndaw.A, 2016) yaitu

$$Resolusi_{ADC} = \frac{V_{ref}}{2^n - 1} \dots \dots \dots (3-3)$$

Maka resolusi pembacaan ADC dengan tegangan referensi 5 V dan bit yang digunakan 10 bit adalah

$$Resolusi_{ADC} = \frac{5}{2^{10} - 1} = \frac{5}{1023} = 0,004883V/bit$$

yang berarti setiap 1 bit perubahan nilai ADC mewakili perubahan tegangan sebesar 0,004883V.

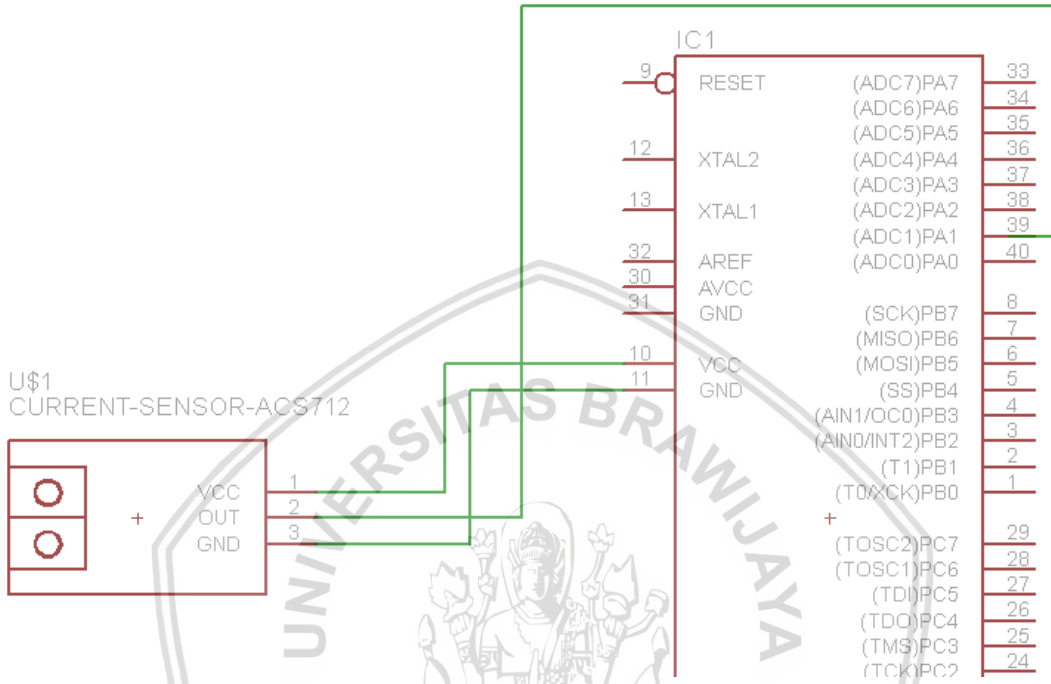
Untuk mendapatkan konstanta yang diperlukan dalam mengkonversi nilai ADC menjadi nilai yang sesuai dengan nilai yang ditunjukkan oleh voltmeter (kalibrasi) dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2-7) yaitu:

$$Konstanta \ Sensor \ Tegangan = \frac{25 V}{1023}$$

Konstanta Sensor Tegangan = 0,02443

3.2.2. Rangkaian Sensor Arus

Rangkaian sensor arus dirancang untuk mengukur arus yang mengalir dari dan menuju baterai. Skematik rangkaian sensor arus dapat dilihat dalam Gambar 3.5.



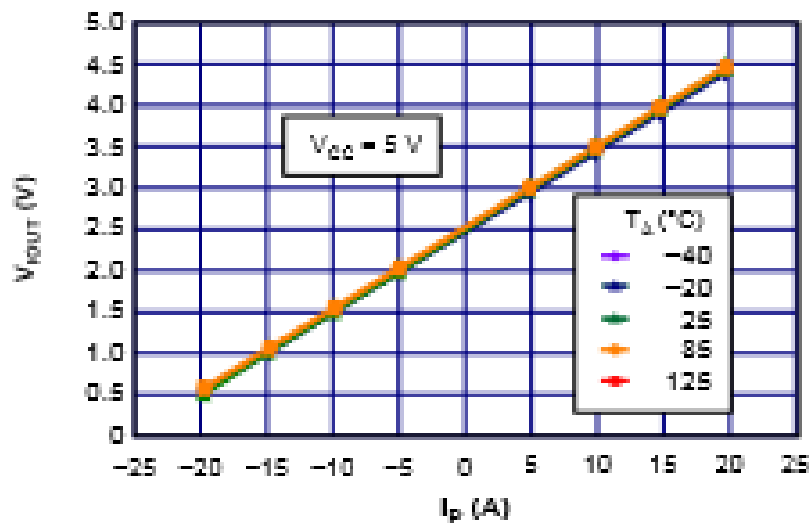
Gambar 3.5 Skematik sensor arus

Sensor arus yang digunakan adalah ACS712 – 5 A merupakan sensor arus dengan prinsip *hall effect*, yakni merubah medan magnet yang ditimbulkan oleh arus menjadi tegangan yang proporsional. Maka keluaran dari sensor ini berupa tegangan.

Sensor ini memiliki sensitivitas sebesar 185 mV/A dengan rentang pengukuran arus 0 A sampai 5 A. Tegangan keluaran saat arus 0 A (*zero current/quiescent*) ditentukan pada Persamaan (3-5) (Allegro MicroSystem, 2007).

$$V_{IOUT(Q)} = V_{CC} \times 0,5 \dots \dots \dots (3-4)$$

Grafik keluaran tegangan terhadap arus yang terdeteksi pada sensor ditunjukkan pada Gambar 3.6.



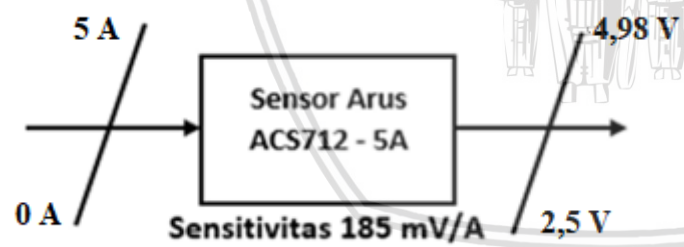
Gambar 3.6 Tegangan keluaran sensor terhadap arus yang terdeteksi.

Sumber: Allegro MicroSystem (2007,p.7)

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.6, fungsi tegangan terhadap arus dapat diberikan dalam persamaan (3-6) (Allegro MicroSystem, 2007). Dimana perubahan tegangan linier terhadap perubahan arus.

$$V_{outsensor} = (0,185 \times I_{in}) + (V_{CC} \times 0,5) \dots\dots\dots(3-5)$$

Dengan menggunakan tegangan catu (Vcc) = 5 V dan I_{in} sebagai arus yang terdeteksi sensor maka dapat dibuat sebuah perancangan sensor arus yang ditunjukkan pada Gambar 3.7



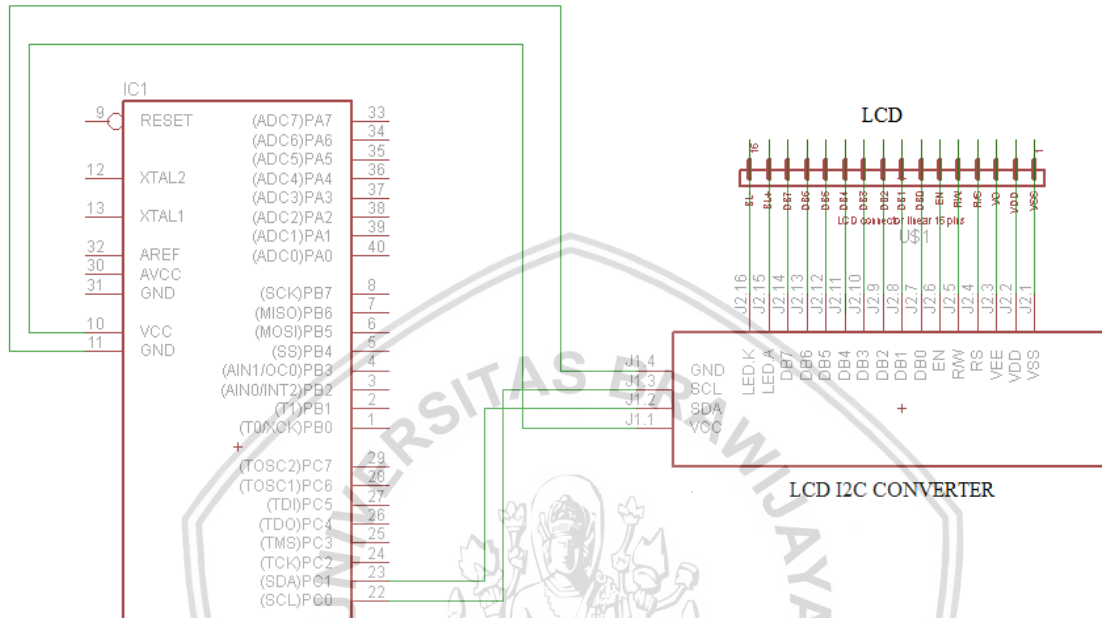
Gambar 3.7 Diagram proses sensor arus.

Untuk mendapatkan nilai arus yang sesuai dengan nilai yang tertera pada amperemeter (kalibrasi) maka dilakukan pengkonverisn nilai ADC yang diterima mikrokontroler dengan persamaan (2-8) yaitu:

$$I_{sensor} = \frac{(\frac{Nilai\ ADC}{1024} \times 5) - 2,5}{0,185} \dots\dots\dots(3-6)$$

3.2.3. Modul LCD

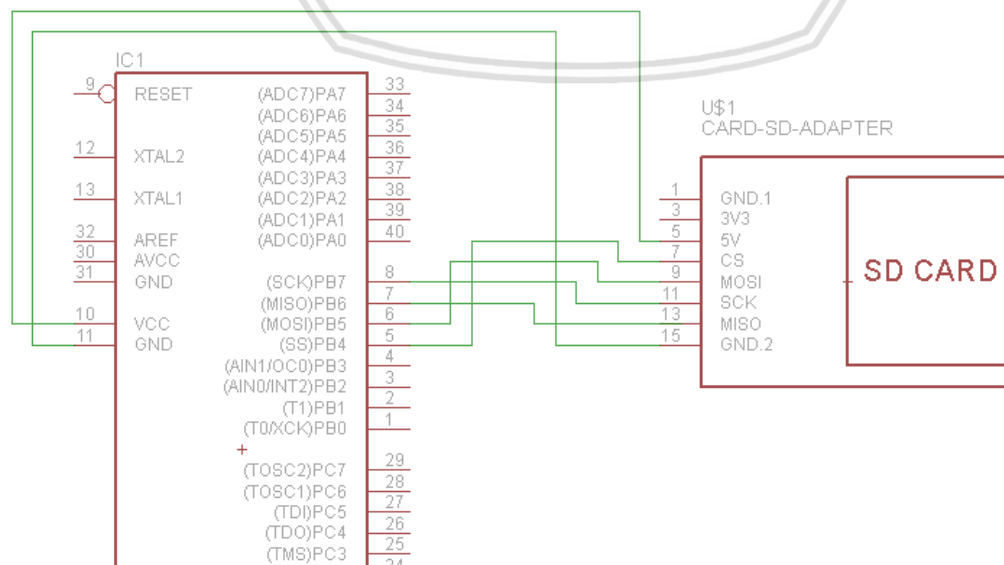
Modul *LCD* dibuat agar *LCD* yang digunakan dapat menampilkan karakter yang diinginkan. Tampilan pada *LCD* merupakan pengukuran arus, tegangan, waktu serta hasil perhitungan *State of Health*. Skematik perancangan modul *LCD* dapat dilihat dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Skematik perancangan modul *LCD*

3.2.4. Modul SD Card

Modul SD card dibuat sebagai media penghubung kartu memori dengan mikrokontroler agar mikrokontroler dapat melakukan penyimpanan data pada kartu memori. Skematik perancangan modul *SD card* dapat dilihat dalam Gambar 3.9

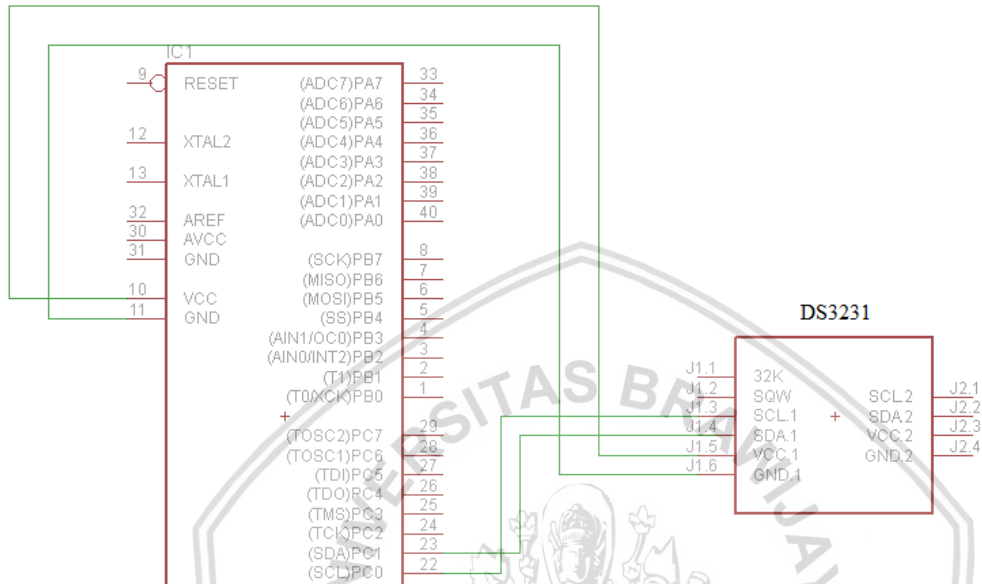


Gambar 3.9 Skematik perancangan modul *SD card*



3.2.5. Modul DS3231 (*Real Time Clock*)

Modul DS3231 digunakan sebagai media penghitung waktu yang berkomunikasi dengan mikrokontroler menggunakan *I2C*. *RTC* digunakan untuk menghitung waktu pengosongan dan pengisian baterai. Skematik perancangan modul DS3231 (*RTC*) dapat dilihat dalam Gambar 3.10

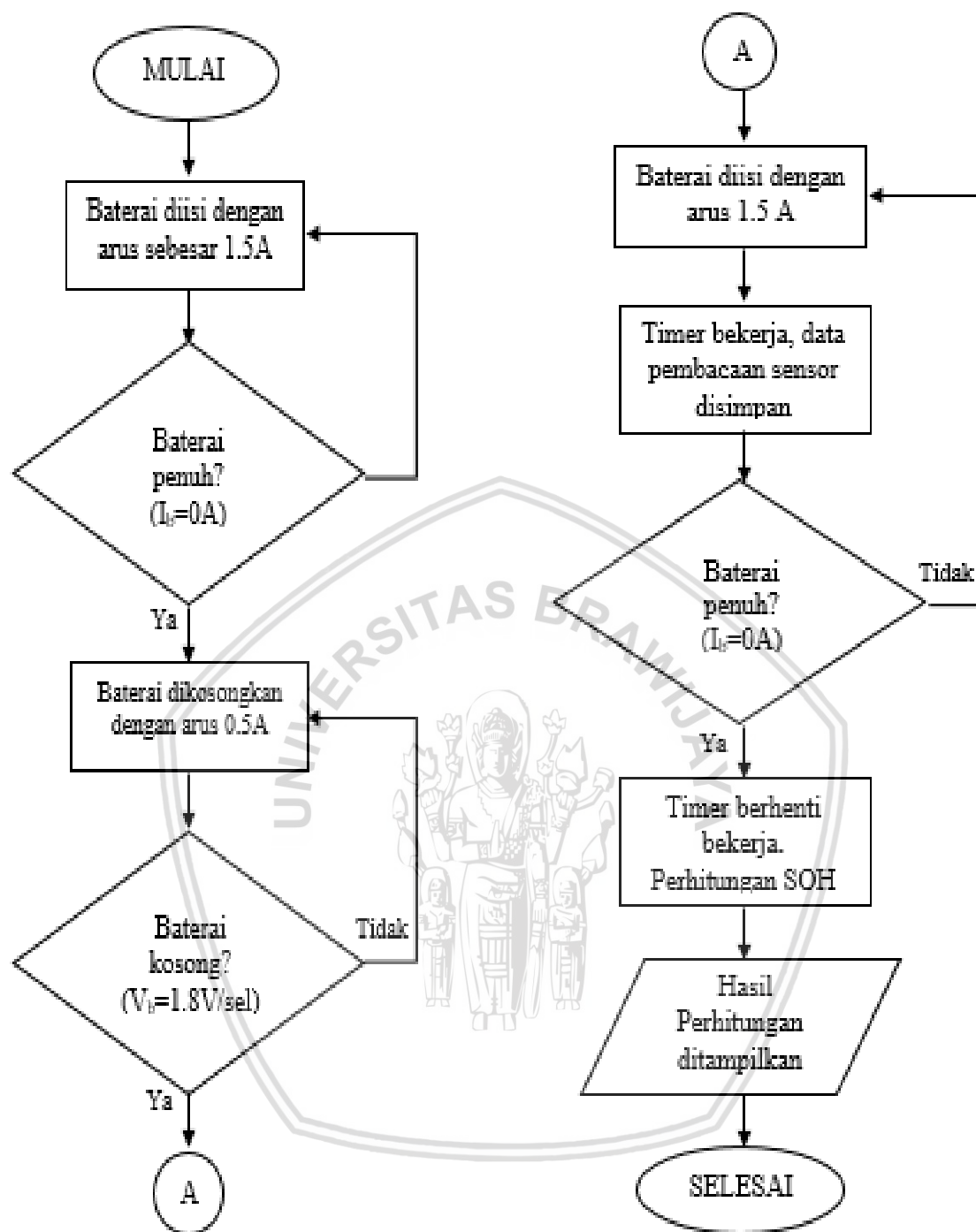


Gambar 3.10 Skematik perancangan modul DS3231

Modul DS3231 dihubungkan dengan pin *SDA* dan *SCL* pada mikrokontroler yang membentuk sebuah komunikasi tipe *I2C*. Hal yang terpenting pada penggunaan perangkat dengan komunikasi *I2C* adalah mengetahui alamat (*address*) dari perangkat tersebut.

3.2.6. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak (*software*) dirancang sesuai dengan *flowchart* yang sudah dibuat. Desain dan parameter yang telah dirancang kemudian diterapkan pada modul mikrokontroler Arduino Mega 2560 dengan menggunakan bahasa C dan program *compiler*. *Flowchart* dari pemrograman perangkat lunak ditunjukkan dalam Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Diagram alir pemrograman perangkat lunak

3.3. Pengujian Perangkat Keras

Pada bagian ini pengujian dilakukan pada masing-masing blok sesuai pada sub bab 3.2. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah masing-masing bagian dapat bekerja sesuai dengan fungsinya seperti yang telah direncanakan.

3.3.1. Pengujian Rangkaian Sensor Arus

Pengujian sensor arus dilakukan untuk mengetahui apakah sensor tersebut dapat bekerja baik sesuai keinginan dengan cara menambahkan beban sehingga arus juga akan bertambah. Apabila sensor arus dapat membaca perubahan kenaikan arus pada beban maka sensor tersebut dapat bekerja. Kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan pengukuran secara manual dengan menggunakan amperemeter untuk mendapatkan kesalahan pembacaan pada sensor arus.

3.3.2. Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Pengujian rangkaian sensor tegangan dilakukan untuk mengetahui apakah sensor yang dirancang dapat bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan dengan cara merubah tegangan pada sumber. Kemudian hasil pembacaan sensor tegangan akan dibandingkan dengan hasil pembacaan pada voltmeter.

3.3.3. Pengujian Modul LCD

Pengujian modul *LCD* dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian tersebut dapat menampilkan karakter sesuai dengan yang diperintahkan. Jika *LCD* dapat menampilkan karakter sesuai dengan yang diberikan maka rangkaian ini berfungsi dengan baik.

3.3.4. Pengujian Modul SD Card

Pengujian modul *SD card* dilakukan untuk mengetahui apakah data yang diperintahkan oleh mikrokontroler untuk disimpan berhasil disimpan menjadi data .txt atau gagal terkoneksi.

3.3.5. Pengujian Modul RTC (DS3231)

Pengujian Modul *RTC* (DS3231) dilakukan untuk mengetahui apakah penghitungan waktu yang diperintahkan oleh mikrokontroler sesuai dengan waktu yang sudah ditetapkan sebelumnya. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan pewaktu pada *stopwatch*.

3.3.6. Pengujian Baterai Valved-Regulated Lead Acid (VRLA)

Setelah *testbench* bekerja sesuai dengan yang diinginkan, dilakukan pengujian pengisian dan pengosongan 5 buah baterai yang berbeda kondisi. Baterai pertama merupakan baterai baru yang belum pernah digunakan sebelumnya. Baterai yang kedua hingga baterai kelima merupakan baterai yang sama dengan baterai yang pertama dalam hal jenis, merk, dan kapasitas nominal namun yang membedakan adalah waktu pemakaian dalam kata lain sudah pernah digunakan sebelumnya. Berdasarkan hal berbeda ini maka akan menghasilkan nilai *State of Health* yang berbeda (diusahakan memiliki perbedaan yang signifikan). Berdasarkan perbedaan nilai *State of Health* akan diamati arus yang masuk

baterai, tegangan baterai dan perbedaan waktu pengisian baterai serta bagaimana jika waktu pengisiannya dapat digunakan untuk menghitung *State of Health*.









BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah *testbench* bekerja sesuai perancangan atau tidak. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah waktu pengisian sebuah baterai dapat dijadikan acuan untuk mengetahui kadar kesehatan baterai (nilai *State of Health*). Pengujian dilakukan pada masing-masing blok dalam perancangan *hardware* serta pengujian sistem *testbench* secara keseluruhan untuk menguji apakah *software* bekerja sesuai perancangan atau tidak. Pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pengujian rangkaian sensor arus.
2. Pengujian rangkaian sensor tegangan.
3. Pengujian modul *LCD*.
4. Pengujian modul *SD Card*.
5. Pengujian modul *RTC* sebagai *timer*.
6. Pengujian baterai *Valve-regulated Lead Acid*.

4.1 Pengujian Rangkaian Sensor Arus

Tujuan pengujian rangkaian sensor arus ini adalah untuk mengetahui apakah sensor dapat bekerja dengan baik dan memberikan hasil yang sesuai dengan data yang terlampir pada datasheet nya. Sehingga hasil keluaran dari sensor tersebut dapat digunakan sebagai panduan perancangan rangkaian sensor arus dan dapat diaplikasikan ke dalam sistem *testbench* yang telah dirancang.

Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian rangkaian sensor arus adalah sebagai berikut:

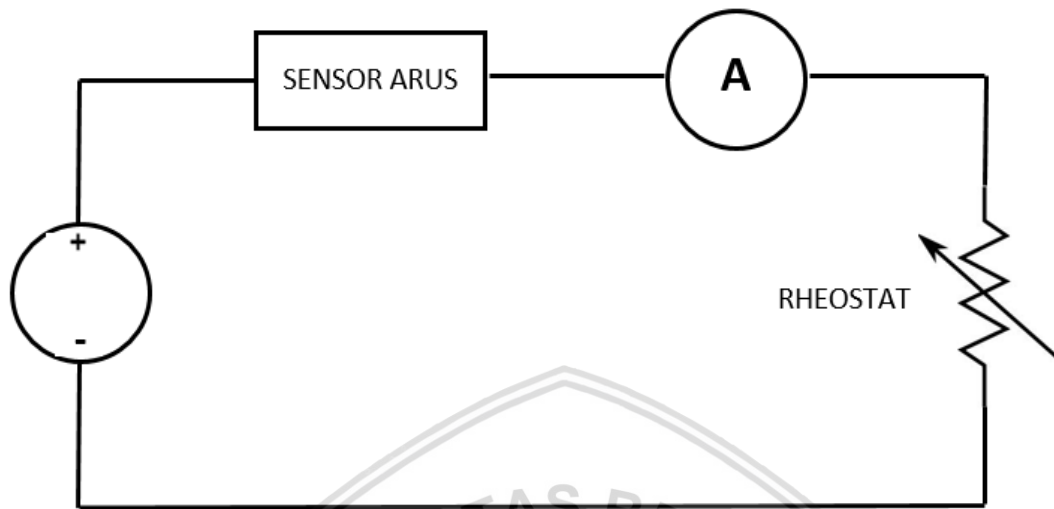
1. Sensor Arus ACS712 20 A
2. *Rheostat*
3. Amperemeter 10 A
4. *Power supply*

4.1.1 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan dengan cara merubah besarnya resistansi pada *rheostat*. Dengan demikian arus yang mengalir pada sensor akan berubah. Perubahan arus diukur dengan

menggunakan amperemeter, apabila amperemeter menunjukkan nilai arus yang diinginkan, maka nilai arus yang terbaca pada *serial monitor* dan *LCD* akan dicatat.

Berikut diagram blok pengujian rangkaian sensor arus ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Rangkaian pengujian sensor arus ACS712 20 A

Prosedur pengujian rangkaian sensor arus adalah sebagai berikut:

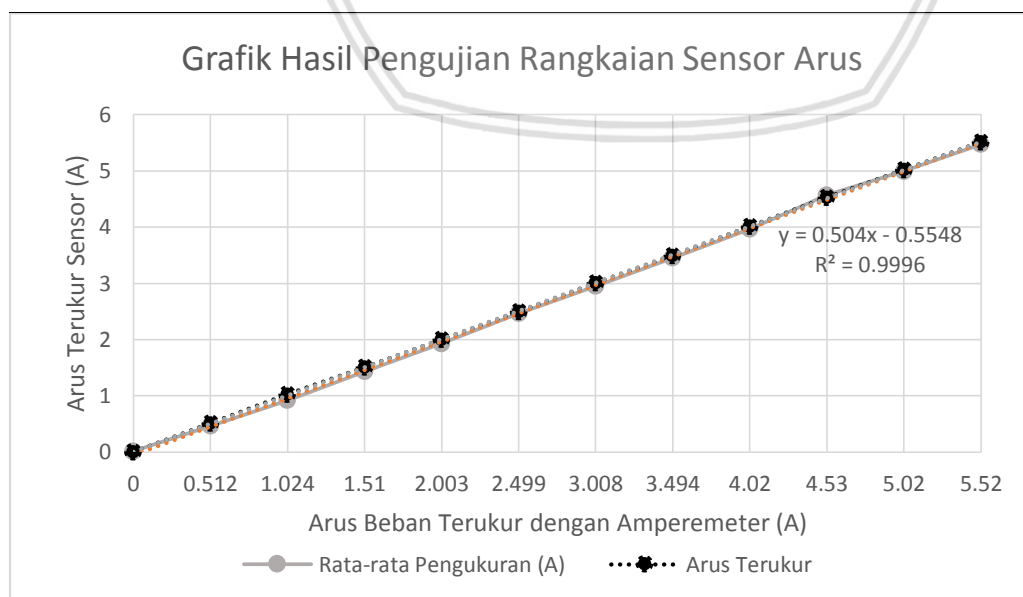
1. Rangkai rangkaian pengujian sensor arus sesuai Gambar 4.1.
2. Pasang amperemeter dan sensor arus ACS712 20 A secara seri.
3. Atur tegangan keluaran dan arus hingga mencapai titik maksimal (dalam pengujian ini 6 A)
4. Atur besar kecilnya resistansi pada *rheostat* dengan cara menggeser *contact slider* pada *rheostat* hingga amperemeter menunjukkan nilai arus yang diinginkan.
5. Catat nilai arus yang ditampilkan oleh *serial monitor* atau *LCD*.
6. Bandingkan nilai keluaran rangkaian sensor arus dan hasil pengukuran dengan amperemeter.

4.1.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan

Sensor arus digunakan untuk mengukur arus yang mengalir dari *power supply* menuju *rheostat*. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali. Hasil pengujian ditunjukkan dalam *Tabel 4.1* dan *Gambar 4.2*.

Tabel 4.1
Hasil Pengujian Sensor Arus

Arus Beban Terukur Amperemeter (A)	Pengujian Pertama Sensor (A)	Pengujian Kedua Sensor (A)	Pengujian Ketiga Sensor (A)	Rata-rata Pengukuran (A)	Selisih (A)	Error (%)
0	0,010	0,010	0,020	0,013	0,013	1,333
0,512	0,450	0,470	0,480	0,467	0,045	8,854
1,024	0,930	0,930	0,900	0,920	0,104	10,156
1,510	1,430	1,440	1,430	1,433	0,077	5,077
2,003	1,940	1,930	1,930	1,933	0,070	3,478
2,499	2,470	2,460	2,470	2,467	0,032	1,294
3,008	2,960	2,940	2,960	2,953	0,055	1,817
3,494	3,460	3,440	3,460	3,453	0,041	1,164
4,020	3,960	3,960	3,980	3,967	0,053	1,327
4,530	4,570	4,570	4,570	4,570	0,040	0,883
5,020	4,990	5,010	4,990	4,997	0,023	0,465
5,520	5,460	5,510	5,460	5,477	0,043	0,785
<i>Error Rata-Rata (%)</i>						2,818



Gambar 4.2 Grafik hasil pengujian rangkaian sensor arus

Pada pengujian rangkaian sensor arus dapat disimpulkan bahwa selisih arus masuk dan rata - rata arus keluar pada sensor arus adalah linier dimana semakin besar arus masuk maka akan semakin besar juga arus keluaran sensor. Sensor ACS712 20 A memiliki sensitivitas sebesar 100 mV/A. Pada datasheet sensor dijelaskan bahwa total *error* keluaran 1,5% pada saat suhu 25 °C, pada pengujian kali ini dengan suhu berkisar 18 °C-23 °C dan rangkaian sensor arus menghasilkan rata - rata *error* sebesar 2,818% terhadap pembacaan dengan menggunakan amperemeter dan selisih terbesar adalah 0,104 A. Hal ini disebabkan oleh perbedaan tegangan referensi *ADC* pada mikrokontroler yang digunakan dalam perhitungan sebesar 4,98 V dan tegangan referensi pada rangkaian sebesar 5 V. Selisih antara tegangan referensi teori dan praktek dapat mempengaruhi perhitungan dan pembacaan sensor.

4.2 Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Tujuan pengujian rangkaian sensor tegangan adalah untuk mengetahui apakah rangkaian sensor tegangan tersebut dapat mendeteksi tegangan masukan sebesar 0 V hingga 20 V. Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian sensor tegangan:

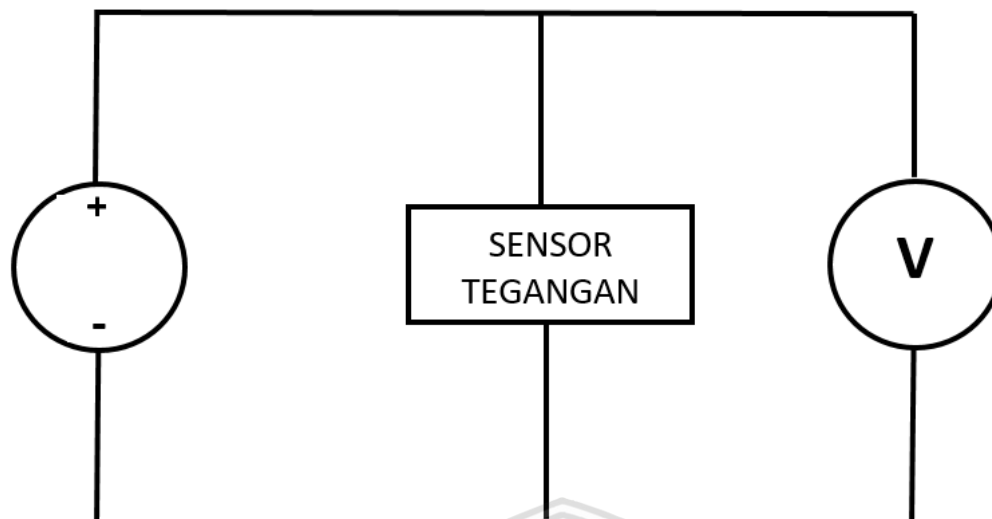
1. *Power supply*.
2. Rangkaian sensor tegangan.
3. Voltmeter.

4.2.1 Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan dilakukan dengan cara mengukur tegangan keluaran *power supply* menggunakan voltmeter dan melihat tegangan yang terbaca oleh sensor tegangan pada *LCD*. Diagram blok pengujian rangkaian sensor tegangan ditunjukkan dalam Gambar 4.8.

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran *power supply*. Tegangan keluaran *power supply* diukur dengan menggunakan voltmeter dan rangkaian sensor tegangan dengan mikrokontroler, kemudian dilakukan perbandingan antara kedua hasil pengukuran.

Diagram blok pengujian rangkaian sensor tegangan dan konfigurasi pemasangan ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Diagram blok pengujian rangkaian sensor tegangan

Prosedur pengujian rangkaian sensor tegangan dengan mikrokontroler adalah sebagai berikut:

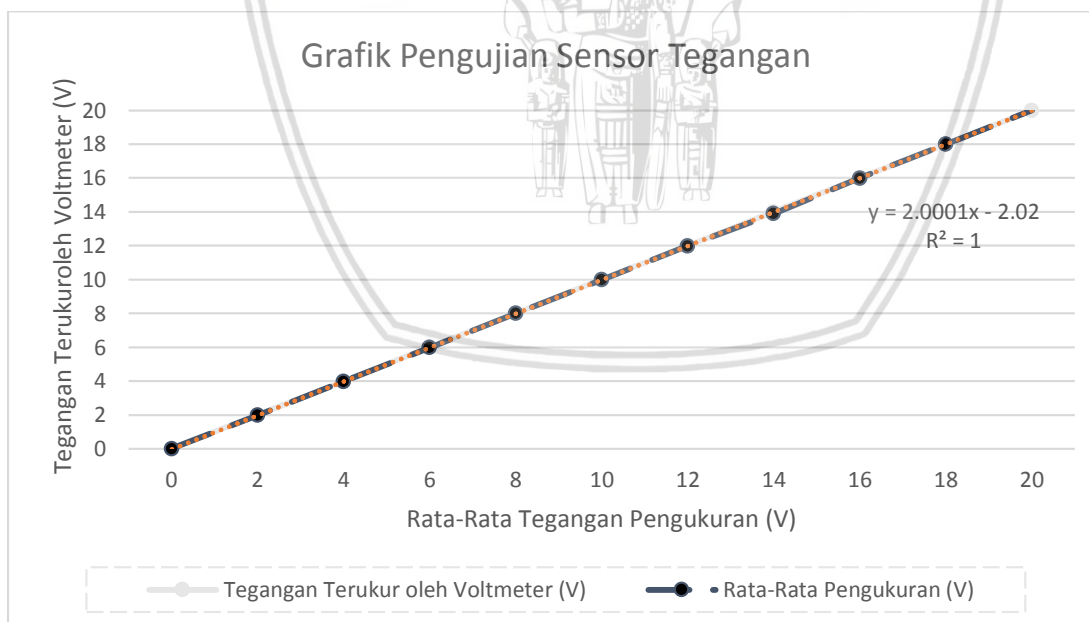
1. Rangkai rangkaian pengujian rangkaian sensor tegangan sesuai dengan yang ditunjukkan dalam Gambar 4.3.
2. Tegangan *power supply* diatur bervariasi. Tegangan *power supply* merupakan tegangan yang akan diukur oleh rangkaian sensor tegangan.
3. Tegangan *power supply* dibatasi pada tegangan 0 V sampai 20 V.
4. Pengaturan tegangan *power supply* diamati dengan menggunakan voltmeter. Pengukuran tegangan *power supply* oleh rangkaian sensor tegangan dapat diamati dengan melihat nilai tegangan yang tertera pada layar *LCD*.
5. Kemudian catat hasil pembacaan sensor tegangan yang tertera pada *LCD*. Pengujian dilakukan berulang sebanyak lima kali.

4.2.2 Hasil Pengujian dan Analisis

angkaian sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan oleh *power supply*. Tegangan *power supply* ini dibatasi pada *range* tegangan 0 V-20 V dengan interval sebesar 2 V. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali, pengambilan data kemudian dirata-rata hingga didapatkan hasil pengujian rangkaian sensor tegangan yang ditunjukkan dalam Tabel 4.2 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.2
Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Tegangan pada Voltmeter (V)	Pengujian oleh Sensor (V)					Rata-rata (V)	Selisih (V)	Error (%)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima			
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	0,030	1,500
4	3,98	3,98	3,98	3,97	3,98	3,98	0,020	0,500
6	5,98	5,98	5,98	5,98	5,97	5,97	0,022	0,367
8	7,99	7,99	7,99	7,97	8,02	7,99	0,008	0,100
10	10,00	10,00	9,97	9,99	10,00	9,99	0,008	0,080
12	12,00	12,00	11,97	11,98	12,00	11,99	0,110	0,083
14	14,00	14,00	13,47	13,98	13,99	13,98	0,012	0,086
16	16,00	16,00	15,99	15,98	15,99	15,99	0,002	0,050
18	18,00	18,00	18,00	17,99	18,00	17,99	0,010	0,011
20	20,01	20,01	20,01	20,01	20,01	20,01	0,050	0,050
Error Rata-Rata (%)								0,257



Gambar 4.4. Grafik hasil pengujian rangkaian sensor tegangan

Pada pengujian rangkaian sensor tegangan dapat disimpulkan bahwa tegangan yang terbaca oleh sensor tegangan adalah linier dimana semakin besar tegangan yang diberikan oleh *power supply* maka hasil pembacaan tegangan oleh sensor akan semakin besar pula. Pengujian rangkaian sensor tegangan menghasilkan rata-rata *error* sebesar 0,257% dan selisih terbesar

0,11. Hal ini dapat disebabkan oleh dua hal yaitu perbedaan tegangan referensi *ADC* dan nilai toleransi resistor yang digunakan sebagai pembagi tegangan pada sensor. Tegangan referensi *ADC* mikrokontroler yang digunakan dalam perhitungan sebesar 4,98 dan tegangan referensi pada rangkaian sebesar 5V. Selisih antara tegangan referensi teori dan praktek dapat mempengaruhi perhitungan dan pembacaan sensor. Selisih nilai resistor yang digunakan dapat mempengaruhi pembacaan sensor. Karena pada pembacaan nilai resistor secara praktek terdapat nilai toleransi pada resistor, nilai toleransi ini yang menyebabkan adanya perbedaan antara nilai komponen resistor secara teori dan nilai komponen resistor secara praktek.

4.3 Pengujian Modul LCD

Pengujian modul *LCD* adalah untuk mengetahui apakah modul *LCD* dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perintah yang diberikan melalui mikrokontroler. Hal ini perlu dilakukan karena *LCD* berfungsi untuk menunjukkan nilai tegangan, arus, waktu dan hasil perhitungan *State of Health*.

Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian modul *LCD* adalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler.
2. Modul *LCD*.

4.3.1 Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan dilakukan dengan cara memberikan perintah melalui mikrokontroler untuk ditampilkan pada layar *LCD*. Diagram blok pengujian rangkain *LCD* ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Diagram blok pengujian modul *LCD*

Adapun prosedur pengujian modul *LCD* adalah sebagai berikut:

1. Rangkai rangkain pengujian modul *LCD* sesuai diagram blok pada Gambar 4.5.
2. Berikan perintah pada mikrokontroler.
3. Amati apakah tampilan pada *LCD* sesuai dengan perintah dari mikrokontroler.

4.3.2 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian modul *LCD* memberikan hasil yang baik seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.6 yang memperlihatkan bahwa *LCD* dapat menampilkan data sesuai dengan perintah yang diberikan oleh mikrokontroler.



Gambar 4.6 Hasil pengujian modul LCD

Pada pengujian modul LCD memberikan hasil yang cukup baik dimana, perintah yang diberikan oleh mikrokontroler dapat dijalankan dengan baik.

4.4 Pengujian Modul SD Card

Pengujian modul SD Card dilakukan untuk mengetahui apakah data yang telah diterima oleh sensor dapat tersimpan pada kartu memori atau tidak. Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian rangkaian modul SD Card adalah sebagai berikut:

1. Modul SD card.
2. Mikrokontroler.
3. Serial monitor.

4.4.1 Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan dilakukan dengan cara transfer program SD Card test ke modul arduino dengan menggunakan compiler Arduino.



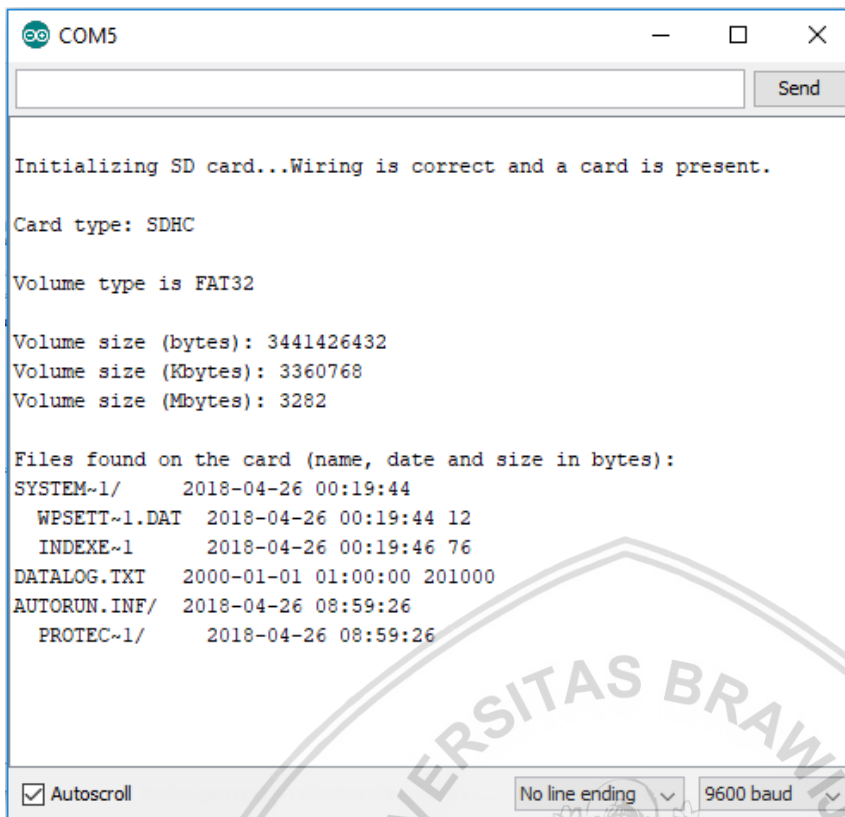
Gambar 4.7 Diagram blok pengujian modul SD Card

Prosedur pengujian modul SD card adalah sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian modul SD card sesuai diagram blok pada Gambar 4.7.
2. Berikan perintah pada mikrokontroler membaca kartu dengan library yang terdapat pada compiler Arduino IDE.
3. Amati menggunakan serial monitor yang terdapat pada compiler Arduino IDE.

4.4.2 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian dari modul SD card berhasil dengan menunjukkan isi dari kartu memori yang telah diunggah sebelumnya seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



```
COM5
Initializing SD card...Wiring is correct and a card is present.
Card type: SDHC
Volume type is FAT32
Volume size (bytes): 3441426432
Volume size (Kbytes): 3360768
Volume size (Mbytes): 3282
Files found on the card (name, date and size in bytes):
SYSTEM~1/    2018-04-26 00:19:44
  WPSETT~1.DAT 2018-04-26 00:19:44 12
  INDEXE~1    2018-04-26 00:19:46 76
DATALOG.TXT  2000-01-01 01:00:00 201000
AUTORUN.INF/ 2018-04-26 08:59:26
  PROTEC~1/   2018-04-26 08:59:26
 Autoscroll
No line ending
9600 baud
```

Gambar 4.8 Hasil pengujian modul *SD Card* melalui *Serial Monitor*

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dikatakan bahwa modul *SD card* ini dapat bekerja dengan baik sesuai yang diharapkan dan kartunya terinisialisasi. Adapun spesifikasi dari kartu memori yaitu:

1. Tipe kartu memori: *SDHC*.
2. Format kartu memori: *FAT32*.
3. Kapasitas penyimpanan memori yang tersedia: 3282 MB.

4.5 Pengujian Modul *RTC* sebagai *Timer*

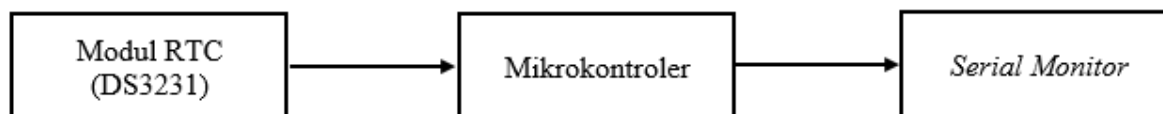
Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah modul *RTC* bekerja dengan baik atau tidak. Penggunaan *RTC* pada sistem ini untuk memberikan pewaktuan kepada sistem dalam menyimpan data ke *SD Card*. Alat yang digunakan dalam pengujian modul *RTC* sebagai *timer* adalah sebagai berikut:

1. Modul *RTC DS3231*
2. Mikrokontroler
3. *Serial monitor*

4.5.1 Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan dilakukan dengan cara transfer program *adjust* yang terdapat pada library *DS3231* ke modul arduino dengan menggunakan *compiler* Arduino IDE. Hal yang perlu

diubah adalah mengatur nilai jam, menit dan detik menjadi 0 karena *RTC* akan digunakan sebagai *timer*.



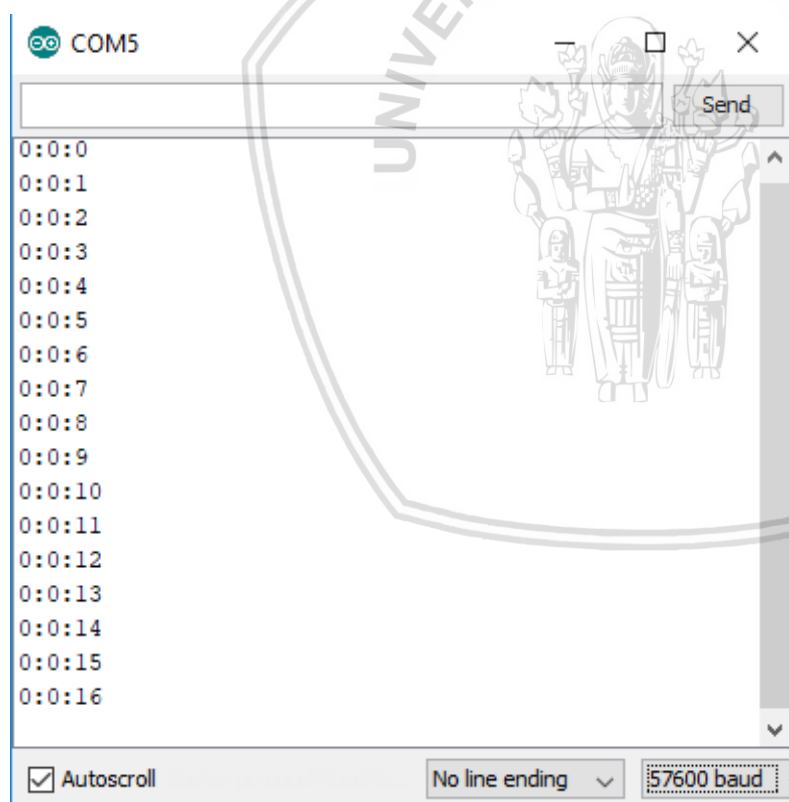
Gambar 4.9 Diagram blok pengujian modul *RTC*

Prosedur pengujian modul *RTC* adalah sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian modul *RTC* sesuai diagram blok pada Gambar 4.9.
2. Berikan perintah pada mikrokontroler program *adjust* dengan *library* yang terdapat pada *compiler* Arduino IDE.
3. Amati menggunakan *serial monitor* yang terdapat pada *compiler* Arduino IDE.

4.5.2 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian dari modul *RTC* sebagai *timer* berhasil dengan menunjukkan pewaktuan perdetik tanpa ada yang terlewat seperti Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil pengujian modul *RTC* melalui *Serial Monitor*

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat dikatakan bahwa modul *RTC* ini dapat bekerja dengan baik sesuai yang diharapkan dan program yang diberikan telah sesuai dengan apa yang diinginkan..

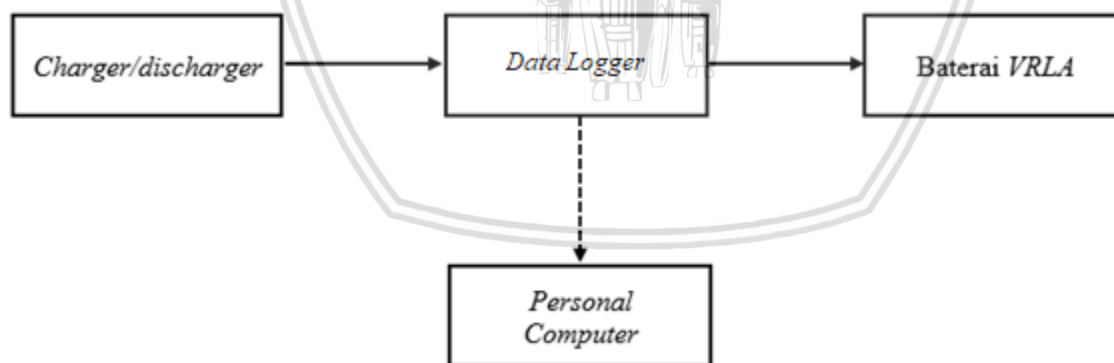
4.6 Pengujian baterai *Valve-Regulated Lead Acid*

Pengujian baterai *Valve-Regulated Lead Acid* dilakukan untuk mengetahui berapakah nilai estimasi *State of Health* baterai tersebut dan kemudian lamanya waktu *charging* akan dibandingkan dengan lamanya waktu *charging* baterai baru. Nantinya baterai baru akan menjadi referensi pengujian. Metode perhitungan nilai estimasi *State of Health* yang digunakan adalah dengan cara membandingkan jumlah arus yang diterima oleh baterai pada proses *charging* hingga penuh (kapasitas pada saat pengujian) dengan kapasitas nominal yang tertera pada baterai. Alat yang digunakan untuk pengujian baterai adalah sebagai berikut:

1. *Testbench* baterai *Valve-Regulated Lead Acid* (VRLA).
2. Alat *charge/discharge* baterai *Valve-Regulated Lead Acid* (VRLA).
3. 5 buah Baterai *Valve-Regulated Lead Acid*, 1 buah sebagai baterai acuan/ referensi (baterai baru), dan 4 buah baterai yang sudah dipakai sebelumnya dimana nilai estimasi *State of Health*-nya belum diketahui.
4. *Personal Computer* (PC).

4.6.1 Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan dilakukan dengan cara mengisi dan mengosongkan baterai VRLA. Selama proses ini berlangsung, dilakukan pencatatan waktu, arus dan tegangan yang kemudian disimpan ke dalam *SD Card*. Penghitungan nilai estimasi *State of Health* dilakukan di dalam *Personal Computer* dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2013.



Gambar 4.11 Blok diagram pengujian baterai *Valve-Regulated Lead Acid*

Prosedur pengujian baterai *Valve-Regulated Lead Acid* adalah sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian baterai *Valve-Regulated Lead Acid* blok pada Gambar 4.11.
2. Nyalakan *charger/discharger*, kemudian nyalakan *testbench* VRLA.

3. Pilih jenis baterai pada *charge/discharger*, atur arus pengisian dan pengosongan (pengisian sebesar 1,5 A, pengosongan sebesar 0,5 A), atur jumlah sel menjadi 6 sel (12 V).
4. Mulai pengisian dengan menekan tombol Start pada *charger/discharger* selama dua detik.
5. *Testbench* akan otomatis bekerja ketika ada arus yang melewati sensor arus. Selama proses, data akan disimpan di *data logger*.
6. Setelah proses *charge/discharge* selesai, data yang berada di *SD Card* dipindahkan ke *Personal Computer* untuk kemudian diolah dengan Microsoft Excel 2013.

4.6.2 Hasil Pengujian dan Analisis

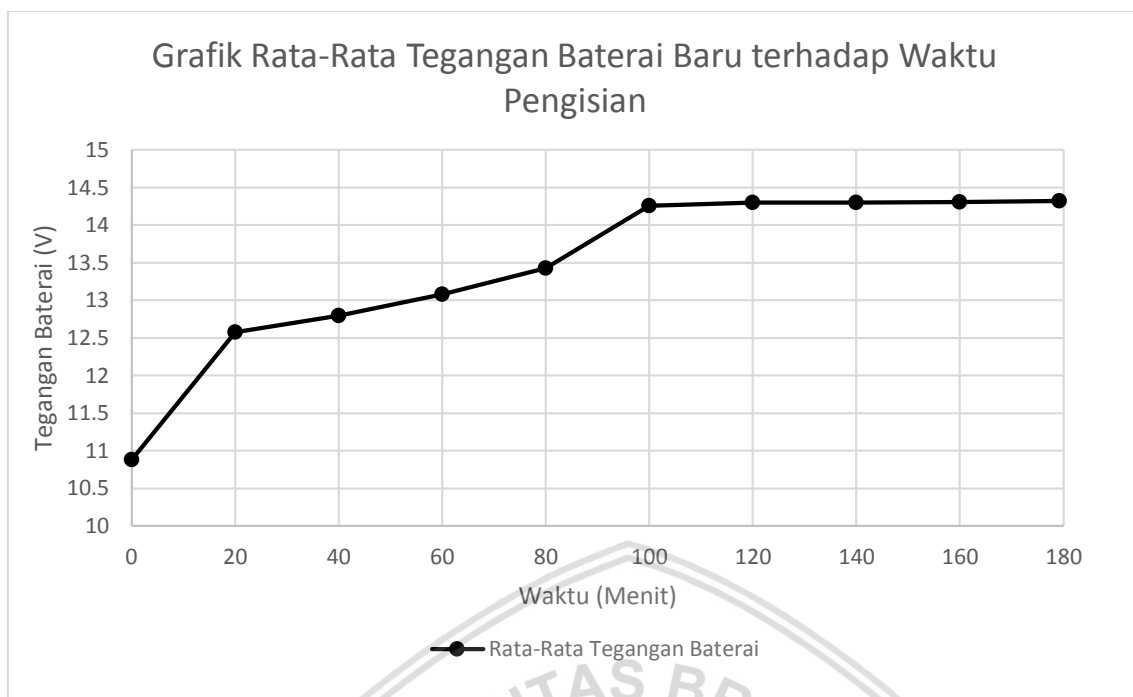
Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk masing-masing baterai, data dicuplik setiap 20 menit dan kemudian dirata-rata hingga didapatkan hasil pengujian berupa tegangan, arus, kapasitas, waktu pengisian serta *State of Health*. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini.

4.6.2.1 Hasil Pengujian dan Analisis Baterai VRLA Baru

Tabel 4.3

Hasil Pengujian Tegangan Baterai Baru pada saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Tegangan Baterai (V)					Rata-Rata (V)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	10,88	10,87	10,90	10,88	10,88	10,88
20	12,57	12,58	12,58	12,57	12,58	12,57
40	12,79	12,79	12,80	12,80	12,79	12,79
60	13,08	13,08	13,08	13,07	13,10	13,08
80	13,43	13,43	13,42	13,44	13,43	13,43
100	14,25	14,26	14,26	14,25	14,26	14,25
120	14,30	14,30	14,30	14,30	14,30	14,30
140	14,3	14,30	14,30	14,28	14,31	14,29
160	14,31	14,31	14,31	14,32	14,29	14,30
179	14,32	14,32	14,32	14,32	14,32	14,32

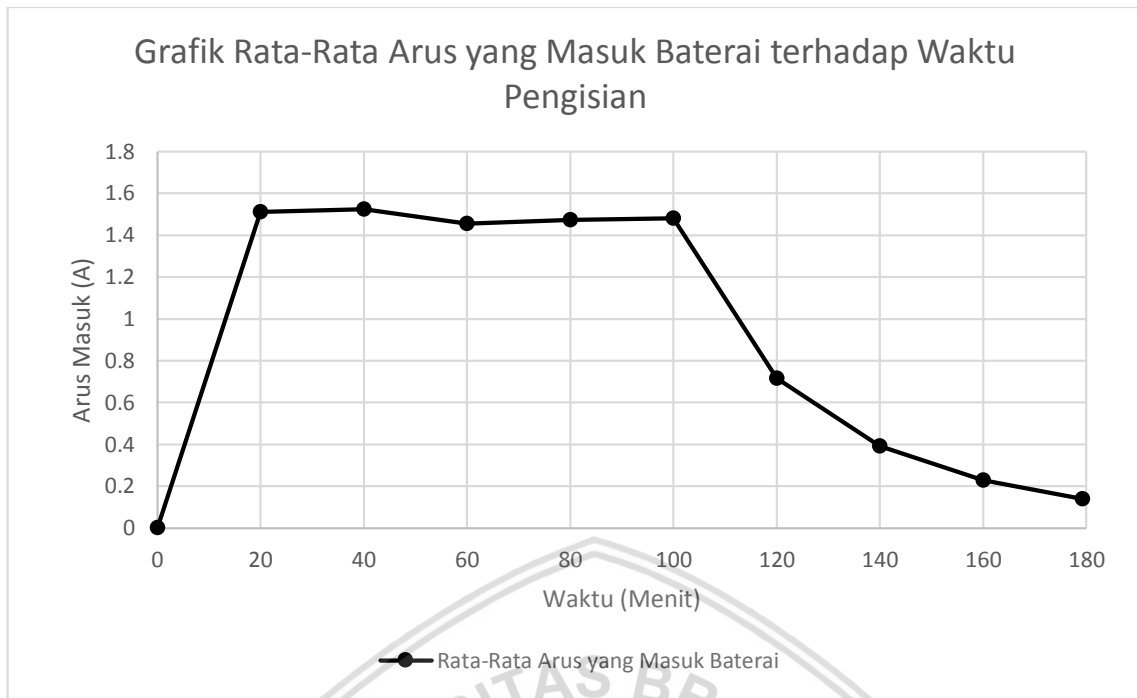


Gambar 4.12 Grafik tegangan rata-rata baterai VRLA baru terhadap waktu pengisian

Tabel 4.4

Hasil Pengujian Arus yang Masuk ke Baterai Baru saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Arus Masuk ke Baterai (A)					Rata-Rata (A)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	0,01	0	0	0	0	0,002
20	1,51	1,51	1,49	1,53	1,51	1,510
40	1,51	1,53	1,53	1,54	1,51	1,524
60	1,44	1,46	1,46	1,47	1,44	1,454
80	1,47	1,48	1,46	1,47	1,49	1,474
100	1,49	1,45	1,47	1,49	1,50	1,480
120	0,71	0,72	0,73	0,71	0,71	0,716
140	0,40	0,39	0,39	0,39	0,39	0,392
160	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,230
179	0,14	0,14	0,15	0,13	0,14	0,140

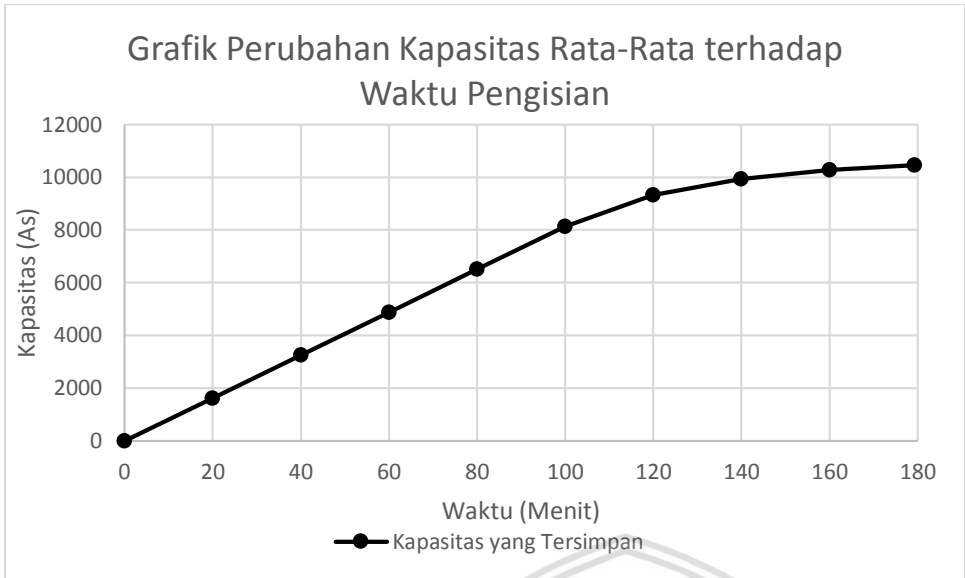


Gambar 4.13 Grafik rata-rata arus yang masuk baterai VRLA baru terhadap waktu pengisian

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Perubahan Kapasitas Baterai Baru saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Kapasitas Baterai (As)					Rata-Rata (As)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	0,01	0	0	0	0	0,002
20	1620,95	1617,06	1611,85	1618,28	1620,27	1617,682
40	3249,68	3245,88	3240,58	3247,10	3249,00	3246,448
60	4879,22	4875,36	4870,05	4876,60	4878,53	4875,952
80	6508,38	6504,48	6499,19	6505,75	6507,74	6505,108
100	8132,79	8128,91	8123,46	8130,24	8132,17	8129,514
120	9327,35	9318,34	9318,19	9324,73	9326,66	9323,054
140	9938,17	9929,17	9929,14	9935,52	9937,43	9933,886
160	10271,26	10262,23	10262,21	10268,61	10270,52	10266,966
179	10463,43	10446,89	10452,10	10459,33	10458,79	10456,108





Gambar 4.14 Grafik perubahan kapasitas rata-rata baterai VRLA baru terhadap waktu pengisian

Tabel 4.6
Hasil Pengujian Waktu Pengisian

Rentang Waktu Pengisian (s)					Rata-Rata (s)
Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Pengujian 4	Pengujian 5	
10778	10722	10761	10768	10749	10755,6

Berdasarkan data di atas dapat disimpulkan bahwa baterai VRLA yang baru dapat diisi dengan kapasitas sebesar 10456,108 As atau apabila dikonversi menjadi satuan Ah menggunakan persamaan (4-1):

$$Kapasitas (Ah) = \frac{Kapasitas(As)}{3600} \dots\dots\dots(4-1)$$

menjadi:

$$Kapasitas (Ah) = \frac{10456,108 As}{3600}$$

$$Kapasitas (Ah) = 2,9045 Ah$$

Baterai VRLA yang baru dapat berstatus penuh setelah melewati proses *charging* dengan rata-rata waktu selama 10755,6 detik. Kemudian berdasarkan kapasitas di atas dapat dihitung nilai estimasi *State of Health* dengan persamaan (2-3).

$$SOH = \left(\frac{2,9045 Ah}{3 Ah} \right) \times 100\%$$

$$SOH = 96,8\%$$

Pada hasil perhitungan *State of Health* di atas dapat disimpulkn bahwa baterai VRLA yang baru memiliki nilai estimasi *State of Health* sebesar 96,8%. Nilai *State of Health* tidak

mencapai 100% karena disebabkan oleh beberapa faktor yaitu *error* pada sensor, lamanya baterai tersebut disimpan serta suhu operasi dan penyimpanan baterai.

4.6.2.2 Hasil Pengujian dan Analisis Baterai VRLA Bekas

Hasil pengujian baterai VRLA bekas dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini.

Tabel 4.7

Hasil Pengujian Tegangan Baterai Bekas 1 pada saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Tegangan Baterai (V)					Rata-Rata (V)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	10,88	10,87	10,89	10,89	10,88	10,882
20	12,46	12,49	12,52	12,45	12,49	12,482
40	12,74	12,77	12,79	12,74	12,77	12,762
60	13,05	13,08	13,1	13,05	13,08	13,072
80	13,43	13,47	13,51	13,43	13,47	13,462
100	14,24	14,25	14,27	14,24	14,25	14,25
120	14,27	14,29	14,28	14,27	14,29	14,28
140	14,28	14,3	14,3	14,28	14,30	14,292
158	14,29	14,31	14,31	14,29	14,31	14,302
180	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.8

Hasil Pengujian Tegangan Baterai Bekas 2 pada saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Tegangan Baterai (V)					Rata-Rata (V)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	10,87	10,82	10,87	10,86	10,71	10,826
20	12,34	12,3	12,41	11,85	12,03	12,186
40	12,64	12,61	12,61	12,36	12,45	12,534
60	13,07	13,04	13,26	12,75	12,97	13,018
80	13,73	13,75	13,94	13,46	13,74	13,724
100	13,77	13,79	13,98	13,64	13,77	13,790
120	13,78	13,8	13,99	13,24	13,78	13,718
128	13,78	13,8	13,99	13,64	13,80	13,802
160	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.9

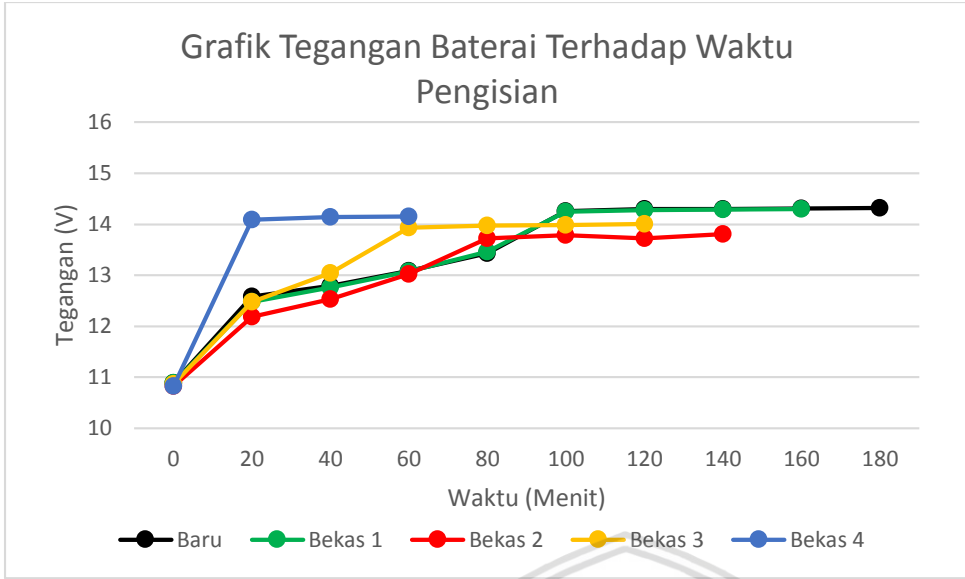
Hasil Pengujian Tegangan Baterai Bekas 3 pada saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Tegangan Baterai (V)					Rata-Rata (V)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	10,88	10,79	10,88	10,88	10,88	10,862
20	12,49	12,41	12,49	12,49	12,49	12,474
40	13,04	13,05	13,04	13,04	13,04	13,042
60	13,93	13,92	13,93	13,93	13,93	13,928
80	13,98	13,96	13,98	13,95	13,98	13,970
100	13,98	13,99	13,98	13,98	13,98	13,982
110	14,01	13,99	14,03	13,98	14,03	14,008
140	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.10

Hasil Pengujian Tegangan Baterai Bekas 4 pada saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Tegangan Baterai (V)					Rata-Rata (V)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	10,87	10,82	10,87	10,86	10,71	10,826
20	14,21	13,81	14,17	14,17	14,09	14,090
40	14,24	13,84	14,22	14,22	14,19	14,142
53	14,24	13,85	14,23	14,23	14,21	14,152
80	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	-	-	-
120	-	-	-	-	-	-
140	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-



Gambar 4.15 Grafik tegangan rata-rata baterai VRLA terhadap waktu pengisian

Berdasarkan data dan grafik tegangan pada Gambar 4.15 di atas, tegangan stabil diatas 14 V dicapai oleh Baterai Bekas 1, Baterai Bekas 2, Baterai Bekas 3 dan Baterai Bekas 4 berturut-turut pada menit ke 100, 80, 60 dan 20. Dari Gambar 4.15 dapat dilihat bahwasanya semakin cepat baterai mencapai suatu kestabilan tegangan maka baterai akan semakin cepat penuh.

Adapun hasil pengujian arus yang masuk ke masing-masing baterai bekas sebagai berikut:

Tabel 4.11

Hasil Pengujian Arus yang Masuk ke Baterai Bekas 1 pada saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Arus yang Masuk ke Baterai (A)					Rata-Rata (A)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	1,48	1,43	1,45	1,43	1,43	1,444
20	1,48	1,46	1,46	1,46	1,46	1,464
40	1,46	1,44	1,42	1,47	1,44	1,446
60	1,43	1,44	1,43	1,42	1,44	1,432
80	1,19	1,26	1,49	1,29	1,26	1,298
100	0,55	0,58	0,56	0,53	0,58	0,560
120	0,26	0,28	0,27	0,25	0,28	0,268
140	0,15	0,13	0,14	0,15	0,14	0,142
158	1,48	1,43	1,45	1,43	1,43	1,444
180	-	-	-	-	-	-



Tabel 4.12

Hasil Pengujian Arus yang Masuk ke Baterai Bekas 2 pada saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Arus yang Masuk ke Baterai (A)					Rata-Rata (A)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	0,01	0,01	0	0,01	0	0,006
20	1,49	1,49	1,42	1,50	1,43	1,466
40	1,48	1,46	1,43	1,46	1,46	1,458
60	1,43	1,46	1,44	1,48	1,47	1,456
80	1,10	1,04	0,88	0,98	0,99	0,998
100	0,52	0,44	0,34	0,38	0,40	0,416
120	0,21	0,18	0,14	0,15	0,19	0,174
128	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,122
160	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.13

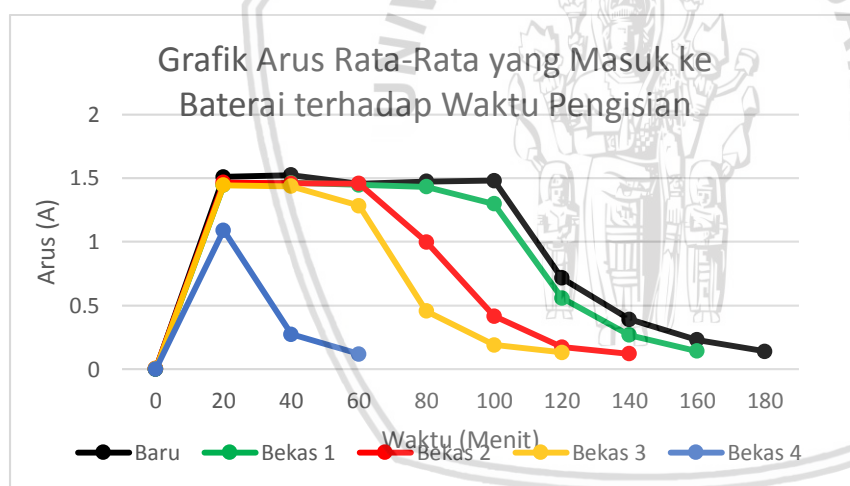
Hasil Pengujian Arus yang Masuk ke Baterai Bekas 3 pada saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Arus yang Masuk ke Baterai (A)					Rata-Rata (A)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	0	0	0,01	0	0,01	0,004
20	1,45	1,42	1,45	1,45	1,45	1,444
40	1,44	1,45	1,41	1,44	1,44	1,436
60	1,27	1,25	1,36	1,27	1,27	1,284
80	0,54	0,52	0,34	0,54	0,34	0,456
100	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,190
110	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,132
140	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.14

Hasil Pengujian Arus yang Masuk ke Baterai Bekas 4 pada saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Arus yang Masuk ke Baterai (A)					Rata-Rata (A)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	0	0	0,01	0	0	0,002
20	1,11	0,97	1,05	1,17	1,15	1,090
40	0,25	0,29	0,22	0,29	0,32	0,274
53	0,11	0,13	0,10	0,11	0,15	0,120
80	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	-	-	-
120	-	-	-	-	-	-
140	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-



Gambar 4.16 Grafik rata-rata arus yang masuk baterai terhadap waktu pengisian

Pada pengujian arus yang masuk ke dalam baterai saat proses pengisian dapat dilihat bahwa Baterai Bekas 4 tidak mencapai level arus maksimal sebesar 1,5 A yang dapat diberikan alat selama proses pengisian, pada menit ke 20, Baterai Bekas 4 sudah mulai masuk ke fase akhir pengisian dimana arus yang masuk dibawah 0,2 A per detik. Tidak seperti Baterai Bekas 1,2 dan 3. Berdasarkan Gambar 4.16 dapat disimpulkan bahwasanya semakin lama Baterai berada pada level arus maksimum yang diberikan oleh charger pada saat proses pengisian, maka baterai semakin lama mencapai kondisi penuh.

Di bawah ini ditunjukkan data hasil pengujian mengenai perubahan kapasitas baterai saat proses pengisian untuk masing-masing baterai bekas.

Tabel 4.15

Hasil Pengujian Perubahan Kapasitas Baterai Bekas 1 saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Kapasitas Baterai (As)					Rata-Rata (As)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	0	0	0	0	0	0
20	1606,10	1615,91	1608,29	1598,99	1608,55	1607,568
40	3221,52	3231,38	3222,01	3214,03	3224,02	3222,592
60	4835,65	4851,16	4835,58	4828,13	4843,80	4838,864
80	6451,50	6474,05	6452,10	6444,10	6466,69	6457,688
100	8036,65	8073,47	8061,78	8031,76	8066,11	8053,954
120	8969,79	9074,68	9093,55	8973,39	9067,32	9035,746
140	9381,84	9545,42	9562,61	9388,89	9538,06	9483,364
158	9564,44	9770,34	9767,33	9574,56	9761,76	9687,686
180	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.16

Hasil Pengujian Perubahan Kapasitas Baterai Bekas 2 saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Kapasitas Baterai (As)					Rata-Rata (As)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	0,01	0	0	0	0	0,002
20	1607,06	1621,48	1611,07	1601,38	1614,58	1611,114
40	3211,20	3242,78	3223,72	3212,49	3233,03	3224,644
60	4813,14	4861,44	4836,32	4820,07	4848,14	4835,822
80	6326,21	6364,35	6291,93	6280,61	6330,36	6318,692
100	7162,24	7122,63	6958,18	6985,78	7066,27	7059,020
120	7541,41	7433,63	7209,95	7247,47	7372,42	7360,976
128	7669,20	7511,26	7231,43	7283,93	7472,04	7433,572
160	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.17

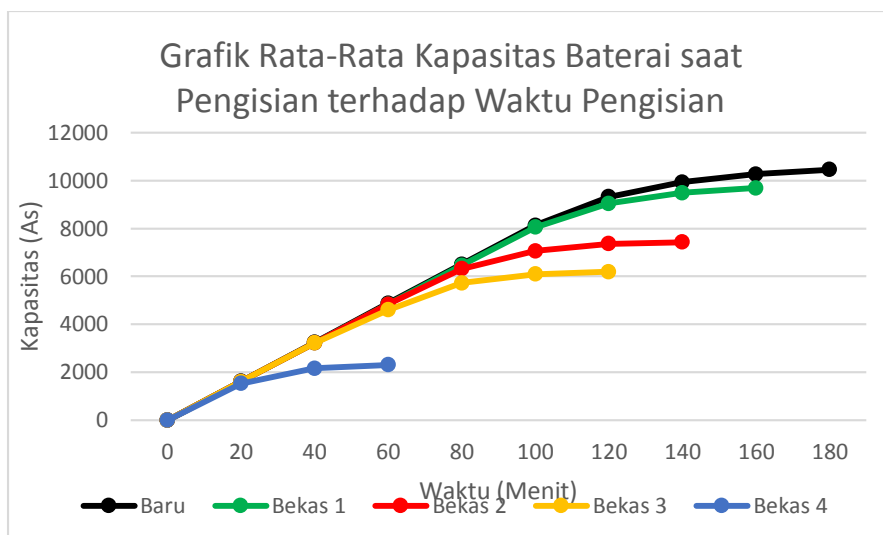
Hasil Pengujian Perubahan Kapasitas Baterai Bekas 3 saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Kapasitas Baterai (As)					Rata-Rata (As)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	0	0	0	0	0	0
20	1615,32	1611,07	1604,88	1606,3	1605,91	1608,696
40	3233,43	3224,03	3212,94	3224,41	3224,02	3223,766
60	4834,87	4553,88	4537,01	4553,72	4553,33	4606,562
80	5810,25	5750,19	5630,79	5801,23	5646,83	5727,858
100	6179,70	6101,96	6012,89	6170,68	6028,93	6098,832
110	6277,09	6188,56	6102,46	6267,41	6121,72	6191,448
140	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.18

Hasil Pengujian Perubahan Kapasitas Baterai Bekas 4 saat Proses Pengisian

Waktu (Menit)	Pengujian Kapasitas Baterai (As)					Rata-Rata (As)
	Pertama	Kedua	Ketiga	Keempat	Kelima	
0	0,01	0	0	0	0	0,002
20	1551,24	1525,46	1525,55	1499,14	1590,79	1538,436
40	2159,95	2124,87	2104,23	2173,43	2303,53	2173,202
53	2275,03	2301,39	2189,33	2336,54	2486,68	2317,794
80	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	-	-	-
120	-	-	-	-	-	-
140	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-

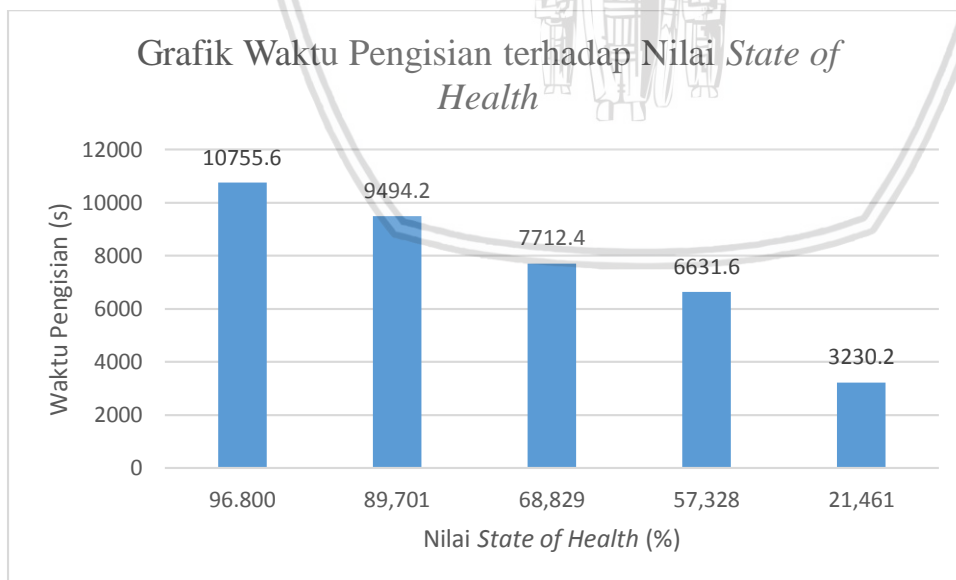


Gambar 4.17 Grafik rata-rata kapasitas baterai saat pengisian terhadap waktu pengisian

Tabel 4.19

Hasil Perhitungan *State of Health* dan Lama Waktu Pengisian

Baterai	Lama Waktu Pengisian (s)	Hasil Perhitungan <i>State of Health</i> (%)
Baterai Baru	10755,6	96,800
Baterai Bekas 1	9494,2	89,701
Baterai Bekas 2	7712,4	68,829
Baterai Bekas 3	6631,6	57,328
Baterai Bekas 4	3230,2	21,461



Gambar 4.18 Grafik waktu pengisian terhadap nilai *State of Health*

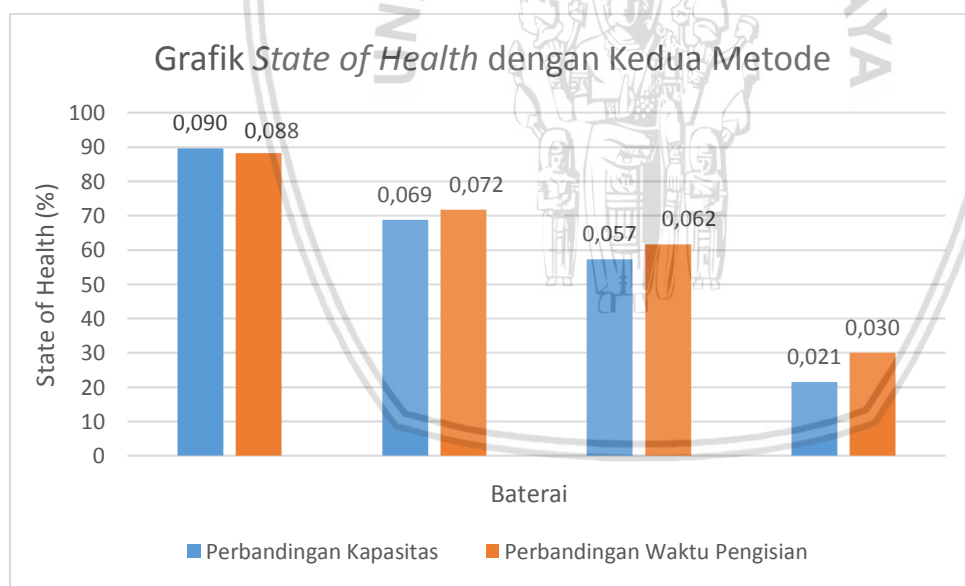
Setelah dilakukan perhitungan nilai *State of Health* menggunakan metode perbandingan kapasitas dan ditampilkan pada Tabel 4.19 dan Gambar 4.18, dapat dilihat untuk baterai yang memiliki nilai *State of Health* sebesar 96,8%, dapat terisi penuh setelah melalui proses pengisian

selama 10755,6 s, baterai yang memiliki nilai *State of Health* sebesar 89.701% dapat terisi penuh setelah melewati proses pengisian selama 9494,2 s. Baterai yang memiliki nilai *State of Health* sebesar 68,829% dapat terisi penuh setelah melewati proses pengisian selama 7712,4 s, untuk baterai yang memiliki nilai *State of Health* sebesar 57,328% dapat terisi penuh setelah melewati proses pengisian selama 6631,6 s. Selanjutnya baterai dengan *State of Health* sebesar 21,461 dapat terisi penuh dengan melewati proses pengisian selama 3230,2 s.

Tabel 4.20

Nilai *State of Health* Baterai Menggunakan Perbandingan Kapasitas dan Waktu Pengisian

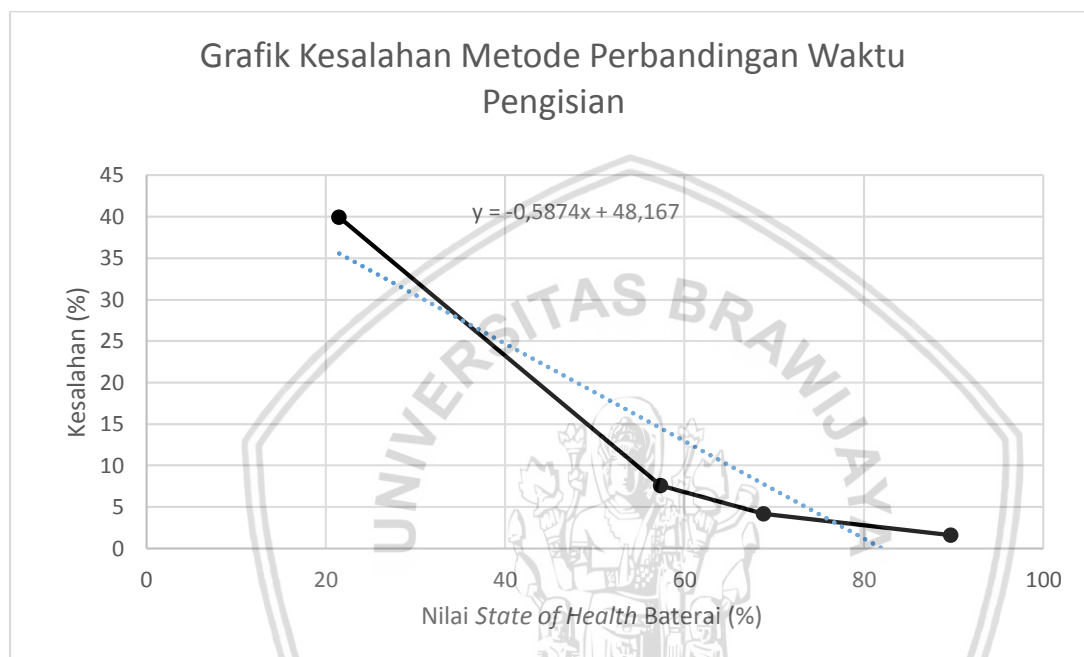
Baterai	Nilai Estimasi <i>State of Health</i> (%)		Selisih (%)	Kesalahan (%)
	Berdasarkan	Berdasarkan		
	Kapasitas	Waktu Pengisian		
Baterai Bekas 1	89,701	88,272	1,429	1,593
Baterai Bekas 2	68,829	71,706	2,877	4,179
Baterai Bekas 3	57,328	61,657	4,329	7,551
Baterai Bekas 4	21,461	30,033	8,572	39,941



Gambar 4.19 Grafik perbandingan nilai estimasi *State of Health* baterai dengan kedua metode

Pada perhitungan perbandingan kapasitas, kapasitas yang digunakan sebagai perbandingan adalah kapasitas nominal yang tertera pada baterai sedangkan untuk metode perbandingan waktu pengisian, waktu yang digunakan sebagai pembanding adalah waktu pengisian baterai baru/*State of Health* bernilai 96,8% (10755,6 s).

Berdasarkan Tabel 4.20 dan Gambar 4.19, Perbedaan antara nilai *State of Health* dengan metode perbandingan kapasitas dan metode perbandingan waktu pengisian, Baterai dengan nilai *State of Health* memiliki selisih sebesar 1,429% dan kesalahan sebesar 1,593%. Pada Baterai Bekas 2, memiliki selisih sebesar 2,877% dan kesalahan sebesar 4,179%. Pada Baterai Bekas 3 memiliki selisih nilai *State of Health* sebesar 4,329% dan kesalahan sebesar 7,551%, sedangkan pada Baterai Bekas 4 memiliki selisih sebesar 8,572% dan kesalahan sebesar 39,941%.



Gambar 4.20 Grafik kesalahan metode perbandingan waktu pengisian terhadap nilai *State of Health* menggunakan metode *Coulomb Counting*

Berdasarkan variasi kesalahan dan grafik kesalahan pada Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa kesalahan metode perbandingan waktu pengisian terhadap metode *Coulomb Counting* membentuk sebuah garis yang memiliki persamaan $y = -0,5874x + 48,167$.

Batas *error* maksimal *State of Health* Baterai yang dapat diterima harus memiliki nilai di bawah 6% (DataStar, 2008) seperti yang ditunjukkan oleh Baterai Bekas 1 dan 2. Sedangkan untuk Baterai Bekas 3 dan 4 memiliki *error* melebihi 6% karena baterai yang memiliki nilai *State of Health* jauh di bawah 80% sudah dinyatakan sebagai baterai tidak layak pakai sebab, parameter-parameter baterai yang berada di dalam baterai menjauh dari kondisi ideal/baru (PowerThru, ____).





BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis dari penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar nilai waktu pengisian yang ditempuh baterai *VRLA* hingga penuh, maka nilai *State of Health* baterai semakin besar. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai waktu pengisian, maka semakin kecil nilai *State of Health* baterai tersebut. Hal ini terlihat dari baterai yang terisi penuh selama 10755,6 s memiliki nilai *State of Health* sebesar 96,8%, untuk baterai yang terisi penuh dengan waktu 9494,2 s memiliki nilai *State of Health* sebesar 89,701%, baterai yang terisi penuh dengan waktu selama 7712,4 s memiliki nilai *State of Health* sebesar 68,289%. Baterai yang terisi penuh dengan waktu 6631,6 s memiliki nilai *State of Health* sebesar 57,328% dan untuk baterai dengan waktu pengisian 3230,2 s memiliki nilai *State of Health* sebesar 21,461%.
2. Perbedaan hasil perhitungan nilai *State of Health* menggunakan metode perbandingan kapasitas dengan metode perbandingan waktu pengisian akan semakin membesar ketika nilai *State of Health* yang dibandingkan semakin mengecil. Pada baterai yang memiliki nilai *State of Health* dengan metode perbandingan kapasitas sebesar 89,701% memiliki selisih sebesar 1,429% terhadap *State of Health* metode perbandingan waktu pengisian, baterai yang memiliki nilai *State of Health* dengan metode perbandingan kapasitas sebesar 68,829% memiliki selisih sebesar 2,877% dengan *State of Health* metode perbandingan waktu pengisian, baterai yang memiliki nilai *State of Health* dengan metode perbandingan kapasitas sebesar 57,328% memiliki selisih sebesar 4,329% dengan *State of Health* metode perbandingan waktu pengisian, baterai yang memiliki nilai *State of Health* dengan metode perbandingan kapasitas sebesar 21,461% memiliki selisih sebesar 8,572% dengan *State of Health* metode perbandingan waktu pengisian.

5.2 Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk perbaikan skripsi ini antara lain:

1. Memperhatikan aspek *resting time* pada selang antara setelah proses pengosongan menuju proses pengisian, karena pada baterai akan muncul *recovery voltage* sehingga pada saat proses pengisian, tegangan tersebut dapat diperhitungkan sebagai tegangan kosong
2. LCD 16 x 2 bisa diganti dengan *LCD* yang menyediakan penulisan karakter yang lebih banyak apabila alat tersebut digunakan untuk jenis baterai yang tiap selnya harus diamati.
3. Memperhatikan aspek suhu operasi dari baterai karena perbedaan suhu baterai dan suhu ruang operasi mempengaruhi hasil pengujian.
4. Menggunakan metode perhitungan nilai *State of Health* selain metode perbandingan kapasitas agar mendapat nilai acuan *State of Health* yang lebih akurat.

