



UNIVERSITAS INDONESIA

STUDI KARAKTERISTIK PELEPASAN MUATAN BATERAI *LEAD ACID* TERHADAP VARIASI BEBAN RLC

SKRIPSI

HERMAWAN PERMANA PUTRA

06 06 07 3985

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

JUNI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

STUDI KARAKTERISTIK PELEPASAN MUATAN BATERAI *LEAD ACID* TERHADAP VARIASI BEBAN RLC

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

HERMAWAN PERMANA PUTRA

06 06 07 3985

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

JUNI 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : HERMAWAN PERMANA PUTRA

NPM : 0606073985

Tanda Tangan : 

Tanggal : Senin, 14 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Hermawan Permana Putra

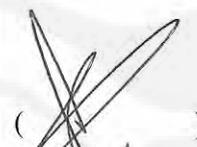
NPM : 0606073985

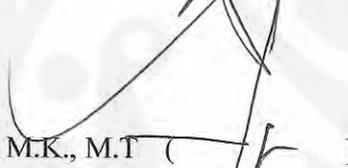
Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Studi Karakteristik Pelepasan Muatan Baterai *Lead Acid* Terhadap Variasi Beban RLC

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Budi Sudiarto ST, MT. ()

Penguji : Prof. Dr. Iwa Garniwa M.K., M.T ()

Penguji : Chairul Hudaya ST, M.Sc ()

Ditetapkan di : Kampus UI Depok

Tanggal : 8 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas skripsi ini dengan baik. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak baik secara langsung maupun tidak langsung membantu penulis menyusun tugas skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis tujukan khususnya kepada:

- (1) Bapak, ibu, dan seluruh keluarga yang memberikan dukungan baik secara moril dan materil.
- (2) Budi Sudiarto, ST, MT dan Prof. DR. Ir. Iwa Garniwa MK, MT yang tidak lelah memeberikan bimbingan kepada penulis hingga penulis dapat menyelesaikan tugas skripsi ini.
- (3) Teman-teman di elektro, asisten laboratorium TTPL, dan teman-teman lain yang tidak dapat penulis sebutkan semua yang membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi dapat ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Desember 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hermawan Permana Putra
NPM : 0606073985
Program studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**STUDI KARAKTERISTIK PELEPASAN MUATAN BATERAI *LEAD*
ACID TERHADAP VARIASI BEBAN RLC**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta sebagai pemegang Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 9 Juli 2010

Yang menyatakan



Hermawan Permana Putra

ABSTRAK

Nama : Hermawan Permana Putra

Program Studi : Teknik Elektro

Judul : Studi Karakteristik Pelepasan Muatan Baterai *Lead Acid*
Terhadap Variasi Beban RLC

Semakin banyaknya penggunaan energi alternatif membuat peranan baterai menjadi sangat penting sebagai media penyimpanan energi. Baterai tersebut digunakan sebagai energi cadangan karena sumber energi alternatif tersebut tidak dapat mensuplai daya terus menerus. Skripsi ini membahas tentang karakteristik pelepasan muatan baterai *lead acid* untuk penggunaan dalam mensuplai beban resistif, induktif, dan kapasitif. Agar dapat mensuplai beban-beban tersebut maka digunakan inverter untuk mengubah tegangan arus searah dari baterai menjadi tegangan arus bolak balik. Parameter kapasitas baterai yang digunakan dalam skripsi ini adalah tegangan aki selama pelepasan muatan untuk beban-beban tersebut. Tegangan baterai selama pelepasan muatan pada masing-masing beban dibandingkan agar mendapatkan karakteristik kapasitas baterai untuk tiap beban tersebut. Hasil dari pengujian menunjukkan adanya perbedaan karakteristik baterai untuk mensuplai masing-masing beban, baik lama waktu baterai mensuplai beban, jumlah energi yang suplai, dan efisiensi dari inverter.

Kata kunci:

Baterai *lead acid*, kapasitas baterai, inverter, karakteristik pelepasan muatan, Beban.

ABSTRACT

Name : Hermawan Permana Putra
Study Program : Electrical Engineering
Title : Study of Discharge Lead Acid Battery Characteristics On RLC Load Variation.

The increasing use of alternative energy make battery's role becomes very important as a energy storage. Batteries are use as a energy storage it can't supply power continuously. This study discusses the discharge characteristics of the lead acid battery for supplying resistive, inductive, and capacitive loads. To be able to supply the load, inverter is then used to convert DC voltage from the battery into AC voltage. Parameter of battery capacity used in this thesis is the battery voltage during discharge for these loads. Battery voltages during discharge for each load are compared to get characteristic of battery capacity for each load. The result shows the differences in characteristic of a battery for supplying each load, duration of the battery supplied, total energy, and efficiency of the inverter.

Key words:

Lead acid battery, battery capacity, inverter, discharge characteristic, loads.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	2
1.3. Pembatasan Masalah.....	2
1.4. Metodologi Penulisan.....	2
1.5. Sistematika Penulisan.....	2
2. LANDASAN TEORI.....	4
2.1. Baterai.....	4
2.2. Parameter Baterai.....	5
2.2.1. Tegangan.....	5
2.2.2. Kapasitas.....	6
2.2.3. Muatan energi.....	7
2.2.4. Energi spesifik dan kerapatan energi.....	7
2.2.5. Resistansi internal.....	7
2.2.6. Pelepasan muatan sendiri (<i>self-discharge</i>).....	8
2.3. Baterai <i>Lead Acid</i>	10
2.4. Inverter.....	14
3. METODE PENGUJIAN.....	18
3.1. Peralatan Pengujian.....	18
3.2. Rangkaian Pengujian.....	20
3.2.1. Pengujian Karakteristik Aki Dengan Beban RLC.....	20
3.2.2. Pengujian Karakteristik Aki Dengan Beban AC.....	21
4. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA.....	23
4.1. Data Pengujian Dengan Tipe Beban Yang Sama.....	23
4.1.1. Beban Resistif.....	23
4.1.2. Beban Induktif.....	25
4.1.3. Beban Kapasitif.....	27
4.2. Pengujian Dengan Daya Yang Sama.....	29

4.2.1. Daya Beban 106,7 VA.....	29
4.2.2. Daya Beban 208,7 VA.....	32
4.2.3. Daya Beban 366,1 VA.....	35
4.3. Efisiensi Inverter.....	40
4.4. Studi Kasus Dengan Beban AC.....	42
5. KESIMPULAN.....	45
DAFTAR ACUAN.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Perhitungan lama waktu baterai mensuplai beban resistif.....	23
Tabel 4.2. Perhitungan lama waktu baterai mensuplai beban induktif.....	25
Tabel 4.3. Perhitungan lama waktu baterai mensuplai beban kapasitif.....	26
Tabel 4.4. Spesifikasi AC.....	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komponen utama baterai.....	5
Gambar 2.2. Potensial campuran antara pelepasan muatan elektroda dan evolusi hidrogen yang menghasilkan pelepasan muatan sendiri.....	9
Gambar 2.3. Pelepasan dan pengisian muatan pada baterai <i>lead acid</i>	12
Gambar 2.4. Grafik hubungan kapasitas yang dapat digunakan dengan arus pelepasan muatan dan temperatur pada baterai <i>lead acid</i> berkapasitas 100 Ah.....	12
Gambar 2.5. Efek Peukert.....	13
Gambar 2.5. Inverter.....	15
Gambar 2.6. Rangkaian sederhana inverter.....	15
Gambar 2.7. Jenis-jenis bentuk gelombang keluaran inverter.....	17
Gambar 3.1. Aki GS Premier 55D26R.....	19
Gambar 3.2. Multimeter Kyoritsu Kew Mate Model 2001.....	19
Gambar 3.3. Clampmeter Avo Megger DCM2039.....	19
Gambar 3.4. Clampmeter Kyoritsu Kew Snap Model 2007A.....	19
Gambar 3.5. Inverter Suoer 600 watt.....	19
Gambar 3.6. Beban variabel.....	19
Gambar 3.7. Rangkaian pengujian karakteristik aki dengan beban RLC...	20
Gambar 3.8. Rangkaian pengujian karakteristik aki dengan beban AC.....	22
Gambar 4.1. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban resistif	24
Gambar 4.2. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban induktif.....	26
Gambar 4.3. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban kapasitif.....	28
Gambar 4.4. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban 106,7VA.....	30
Gambar 4.5. Grafik arus baterai untuk beban 106,7 VA.....	31
Gambar 4.6. Grafik daya yang disuplai baterai untuk beban 106,7 VA.....	32
Gambar 4.7. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban 208,7 VA.....	33
Gambar 4.8. Grafik arus baterai untuk beban 208,7 VA.....	34
Gambar 4.9. Grafik daya yang disuplai baterai untuk beban 208,7 VA.....	35
Gambar 4.10. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban 366,1 VA.....	36
Gambar 4.11. Grafik arus baterai untuk beban 366,1 VA.....	37
Gambar 4.12. Grafik daya yang disuplai baterai untuk beban 366,1 VA...	38
Gambar 4.13. Bentuk gelombang tegangan keluaran inverter.....	39
Gambar 4.14. Jumlah energi yang disuplai baterai.....	40
Gambar 4.15. Konsumsi daya invterter.....	41
Gambar 4.16. Efisiensi inverter.....	42
Gambar 4.17. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban AC...	43
Gambar 4.18. Grafik daya yang disuplai baterai untuk beban AC.....	44

DAFTAR LAMPIRAN

1. Data percobaan pengujian beban resistif 106,7 VA.....	49
2. Data percobaan pengujian beban resistif 208,7 VA.....	53
3. Data percobaan pengujian beban resistif 366,1 VA.....	54
4. Data percobaan pengujian beban induktif 106,7 VA.....	55
5. Data percobaan pengujian beban induktif 208,7 VA.....	58
6. Data percobaan pengujian beban induktif 366,1 VA.....	60
7. Data percobaan pengujian beban kapasitif 106,7 VA.....	61
8. Data percobaan pengujian beban kapasitif 208,7 VA.....	64
9. Data percobaan pengujian beban kapasitif 366,1 VA.....	65
10. Data percobaan pengujian beban AC.....	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sebagian kebutuhan energi saat ini dipenuhi oleh sumber energi dari bahan bakar fosil. Hal ini membuat kebutuhan energi dunia sangat tergantung pada sumber yang terbatas, dan tren saat ini menunjukkan pada dekade berikutnya kebutuhan energi akan bertambah sekitar dua kali lipat. Akan tetapi pada beberapa tahun ini, kenaikan harga minyak bumi dan kekhawatiran akan dampak polusi dan pemanasan global membuat sumber energi terbarukan mendapat perhatian khusus.

Sumber energi terbarukan merupakan energi yang tak akan habis, bersih, dan dapat digunakan secara desentralisasi. Selain itu juga, energi terbarukan juga memiliki keuntungan, yaitu secara cuma-cuma dapat di ambil dari alam dan dapat diintegrasikan dengan jenis-jenis sumber energi terbarukan lain. Salah satu masalah yang timbul dengan penggunaan energi terbarukan adalah media untuk menyimpan energi tersebut karena tidak terus menerus energi dari sumber terbarukan yang dihasilkan, misalnya sumber energi dari sel surya tidak akan menghasilkan energi saat malam hari sehingga dibutuhkan media penyimpanan energi yang menyimpan energi yang dihasilkan selama siang hari dan dapat menggunakannya pada malam hari.

Salah satu media penyimpanan energi adalah baterai. Penyimpanan dan konversi energi akan menjadi sangat terkait dengan perkembangan energi terbarukan. Penggunaan baterai sebagai media penyimpanan energi diharapkan dapat menjadi teknologi yang sangat penting dalam perkembangan energi terbarukan.

Selain baterai, hal lain yang sangat penting dalam perkembangan energi terbarukan adalah inverter. Inverter menjadi sangat penting karena inverter mengubah tegangan arus searah dari baterai menjadi tegangan arus bolak balik yang dapat digunakan oleh beban-beban yang ada. Terkait dengan baterai dan inverter tersebut maka dalam skripsi ini akan dijelaskan tentang karakteristik

kapasitas baterai terhadap operasional beban-beban resistif, induktif, dan kapasitif.

1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui dan mendapatkan karakteristik kapasitas aki terhadap operasional beberapa macam beban. Beban yang akan dibandingkan pada tulisan ini adalah beban resistif, induktif, dan kapasitif dengan VA yang sama.

1.3. Pembatasan Masalah

Pada skripsi ini hanya dibahas tentang karakteristik kapasitas aki terhadap penggunaannya pada jenis-jenis beban. Aki dalam hal ini yang dimaksud adalah baterai jenis *lead acid*. Parameter yang biasa digunakan untuk mengetahui kapasitas aki adalah tegangan aki dan tingkat keasaman elektrolit. Dalam hal ini, parameter yang akan dijadikan untuk mengetahui kapasitas aki tersebut adalah tegangan aki. Agar aki tersebut dapat mensuplai beban-beban tersebut maka harus digunakan inverter yang mengubah tegangan arus searah dari aki menjadi tegangan arus bolak balik. Karakteristik aki dilihat dari perubahan tegangan aki selama pembebanan sampai inverter memutuskan suplai dari aki tersebut. Selain itu, efisiensi dari inverter juga akan didapatkan dari pengujian ini. Dari hasil tersebut akan dibandingkan hasil untuk beban resistif, induktif, dan kapasitif. Digunakannya beban AC disini juga untuk mewakili salah satu beban RLC yang dilakukan dalam pengujian.

1.4. Metodologi Penulisan

Metode penulisan pada skripsi ini adalah dengan melakukan studi literatur tentang karakteristik baterai. Setelah melakukan studi literatur selanjutnya dilakukan pengujian terhadap karakteristik aki tersebut. Dari pengujian tersebut akan didapat data yang selanjutnya akan dianalisa sehingga nantinya akan didapat kesimpulan dari pengujian tersebut.

1.5. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi lima bab. Pada bab pertama, yaitu bab pendahuluan yang berisi tentang latar belakang penulisan, tujuan penulisan, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan. Bab kedua merupakan bab dasar teori yang berisi tentang teori-teori penunjang tentang baterai secara umum, baterai *lead acid* yang akan digunakan dalam pengujian ini, dan tentang inverter. Selanjutnya adalah bab tiga yang membahas tentang mekanisme pengujian yang akan dilakukan. Mekanisme pengujian ini menjelaskan mulai dari persiapan pengujian, alat-alat yang dibutuhkan, sampai pengambilan data pengujian. Bab empat merupakan hasil pengujian dan analisa. Dalam bab ini akan didapatkan hasil dari pengujian dan analisa dari hasil-hasil pengujian tersebut. Bab yang terakhir adalah kesimpulan. Di dalam bab ini akan disimpulkan dari pengujian yang dilakukan dan merupakan intisari dari penulisan ini.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Baterai

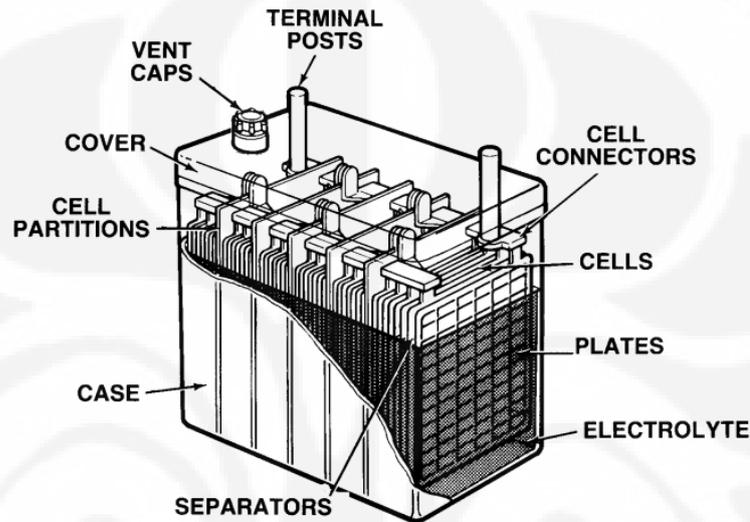
Baterai adalah sebuah peralatan yang dapat mengubah energi kimia yang terkandung dalam material aktif menjadi energi listrik. Baterai terdiri dari beberapa sel yang disusun secara seri menjadi sebuah baterai. Sel merupakan elemen dasar elektrokimia yang digunakan untuk menyimpan energi. Baterai terdiri dari dua jenis, yaitu baterai primer dan baterai sekunder.

Baterai primer merupakan baterai yang hanya dapat digunakan sekali dan tidak dapat diisi ulang. Baterai ini hanya dapat digunakan sekali saja karena reaksi kimia yang ada di dalam material aktifnya tidak dapat dikembalikan. Contoh dari baterai primer ini adalah baterai *zinc-carbon*, baterai alkalin, dll. Baterai primer memiliki keunggulan dalam harga dan memiliki kerapatan energi yang tinggi

Baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang. Baterai sekunder dapat diisi ulang karena reaksi kimia di dalam material aktifnya dapat diputar kembali. Kelebihan dari baterai sekunder adalah harganya lebih efisien untuk penggunaan jangka panjang. Salah satu contoh baterai sekunder adalah baterai *lead-acid*, baterai NiCd, baterai NiMH, dll. Dalam penulisan ini jenis baterai yang akan dibahas lebih dalam adalah baterai *lead-acid*.

Sebuah sel baterai terdiri dari lima komponen utama, yaitu elektroda, separator, terminal, elektrolit, dan pembungkus. Elektroda pada baterai ada dua macam, yaitu anoda dan katoda. Anoda adalah elektroda yang bersifat negatif dan katoda adalah elektroda yang bersifat positif. Saat kedua elektroda ini dihubungkan melalui sebuah beban, arus akan mengalir dari katoda ke anoda. Separator adalah sebuah lapisan yang diletakkan di dalam elektrolit. Separator berfungsi untuk mencegah kontak fisik antara anoda dan katoda. Separator tidak terlibat dalam reaksi kimia dalam baterai, akan tetapi separator mempengaruhi kepadatan energi, daya, banyaknya siklus baterai, dan keamanan baterai. Terminal adalah tempat kutub positif dan negatif yang terletak di pembungkus baterai. Dari

terminal ini, baterai akan dihubungkan dengan kabel ke beban yang akan disuplai. Elektrolit adalah sebuah zat yang terdapat di dalam baterai. Zat ini akan bereaksi secara kimia dengan material aktif yang terdapat di anoda atau katoda sehingga dari reaksi kimia tersebut akan menghasilkan energi listrik. Elektrolit pada baterai dapat berupa cair, gel, atau material padat. Pembungkus adalah tempat yang memuat seluruh komponen baterai dan elektrolit serta memisahkan sel.



Gambar 2.1. Komponen Utama Baterai

2.2. Parameter Baterai

Perilaku pelepasan atau pengisian baterai tergantung pada beberapa parameter. Parameter-parameter ini akan digunakan untuk perbandingan baterai. Beberapa parameter baterai antara lain.

2.2.1. Tegangan

Agar sebuah baterai atau sel dapat mengalirkan arus listrik, antara anoda dan katoda harus terdapat beda potensial. Beda potensial ini dapat disebut sebagai tegangan baterai atau sel. Ada dua jenis tegangan pada baterai, yaitu tegangan sel terbuka (OCV) dan tegangan sel tertutup (CCV). Tegangan rangkaian terbuka adalah tegangan baterai saat tidak diberi beban, sedangkan tegangan

rangkaian tertutup adalah tegangan saat baterai diberi beban. CCV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$CCV = OCV - (arus \times resistansi \ internal) \quad (2.1)$$

Pada beberapa sistem baterai, OCV dapat digunakan untuk menentukan secara kasar keadaan muatan baterai (*state of charge/SOC*). SOC adalah persentase kapasitas baterai yang tersimpan terhadap kapasitas maksimal baterai. Tegangan sel saat diberi beban, tegangan rangkaian tertutup, besarnya tergantung pada arus, keadaan muatan, umur baterai, dan lama penyimpanan. Istilah tegangan yang lain adalah tegangan nominal. Tegangan nominal adalah tegangan referensi dari baterai atau disebut juga sebagai tegangan “normal” baterai. Tegangan nominal baterai besarnya berbeda-beda tergantung karakteristik baterai tersebut.

2.2.2. Kapasitas

Kapasitas sebuah baterai atau sel adalah banyak muatan yang tersedia dan diungkapkan dalam *Ampere-hour* (Ah). Ampere adalah unit satuan untuk arus listrik yang didefinisikan sebagai banyak muatan yang melalui sebuah konduktor dalam satu detik. Besarnya kapasitas baterai ini dipengaruhi oleh banyaknya material aktif, elektrolit, dan luas plat. Kapasitas baterai diukur dengan cara melepaskan muatan dengan arus konstan hingga mencapai tegangan terminalnya. Pengukuran ini dilakukan pada temperatur konstan, yaitu pada temperatur normal 25°C. Besarnya kapasitas baterai dihitung dengan perkalian arus pelepasan muatan dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tegangan terminalnya.

$$C_{Ah} = I \cdot \Delta t \quad \text{Ah} \quad (2.2)$$

Istilah umum lain yang sering digunakan untuk menggambarkan kemampuan baterai untuk mengirimkan arus adalah tingkat kapasitas (*rated capacity*). Kapasitas baterai berubah-ubah tergantung pada tingkat pelepasan muatan. Semakin tinggi tingkat

pelepasan muatan, semakin rendah kapasitas sel. Semakin rendah tingkat pelepasan muatan, semakin tinggi kapasitas baterai. Parameter lain yang mempengaruhi kapasitas baterai adalah keadaan muatan dan riwayat baterai, seperti lama penyimpanan yang terdahulu. Kedalaman pelapasan muatan (*depth of discharge/DOD*) merupakan parameter yang sangat penting untuk menentukan banyaknya siklus pengisian yang dapat baterai capai. Kedalaman pelepasan muatan (DOD) adalah persentase kapasitas muatan yang dilepas terhadap kapasitas baterai maksimal. Sebagai contoh, jika baterai dilepas muatan sebesar 80% DOD maka setelah dilepas muatannya, di dalam baterai masih tersimpan kapasitas sebesar 20% dari kapasitas maksimal. Kapasitas nominal atau tingkat kapasitas baterai ditentukan oleh pabrikan sebagai nilai standar dari karakteristik baterai tersebut.

2.2.3. Muatan energi

Energi, dalam Wh (*watt-hour*), yang dihasilkan dari baterai dapat ditentukan dengan persamaan

$$E = \int_0^t V(t).I(t).dt \text{ Wh} \quad (2.3)$$

dengan V adalah tegangan, I adalah arus saat pelepasan muatan, dan t adalah waktu pelepasan muatan.

2.2.4. Energi spesifik dan kerapatan energi

Energi spesifik merupakan ukuran seberapa beratnya teknologi tersebut. Energi spesifik diukur dalam satuan energi per massa. Semakin tinggi energi spesifik baterai semakin ringan baterai tersebut. Kerapatan energi merupakan ukuran seberapa luas ruangan yang dibutuhkan oleh teknologi tersebut. Kerapatan energi diukur dalam satuan energi per volume. Semakin tinggi kerapatan energi baterai semakin kecil baterai tersebut.

2.2.5. Resistansi internal

Resistansi internal baterai berhubungan dengan kemampuan baterai untuk menangani beban tertentu dan menentukan besar daya

keluaran dari baterai. Syarat umum dari resistansi internal ini adalah resistansi internal arus searah harus jauh lebih rendah dari resistansi dari beban (1/10 atau lebih rendah), jika tidak maka tegangan turun yang diakibatkan oleh arus yang dibutuhkan beban akan mencapai batasan baterai lebih cepat. Istilah resistansi internal harus dipertimbangkan dengan baik karena resistansi internal ini tidak sederhana resistansi ohmik. Resistansi internal tergantung pada penggunaan baterai dan keadaan muatan baterai tersebut. Semakin mendekati akhir pelepasan muatan maka akan semakin besar resistansi internalnya. Metode yang paling sering digunakan dalam menentukan resistansi internal adalah dengan metode arus searah. Saat baterai diberi beban dengan arus i_1 maka akan didapat besar tegangan sebesar V_1 . Kemudian arus akan naik menjadi sebesar i_2 dan tegangan akan turun menjadi sebesar V_2 . Dari data-data tersebut, besar resistansi internal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

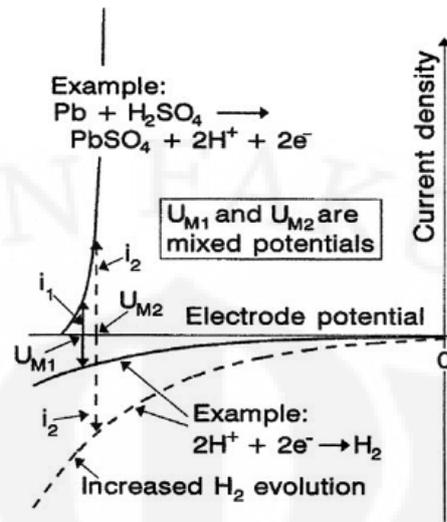
$$R_i = \frac{V_1 - V_2}{i_2 - i_1} = \frac{\Delta V}{\Delta i} \quad (2.4)$$

2.2.6. Pelepasan muatan sendiri (*self-discharge*)

Pelepasan muatan sendiri merupakan hilangnya muatan sedikit demi sedikit pada elektroda positif atau/dan negatif saat baterai tidak digunakan (rangkain terbuka). Salah satu penyebab pelepasan muatan sendiri adalah penurunan sedikit demi sedikit kondisi oksidasi pada elektroda positif.

1. Potensial campuran (*mixed potential*)

Reaksi sekunder juga dapat menyebabkan pelepasan muatan sendiri ketika elektroda memungkinkan saat kesetimbangan potensial. Selanjutnya, reaksi sekunder dan reaksi pelepasan muatan akan membentuk “potensial campuran” seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2.2. Potensial campuran antara pelepasan muatan elektroda dan evolusi hidrogen yang menghasilkan pelepasan muatan sendiri.

Kedua reaksi elektrokimia saling mengimbangi sehingga mengakibatkan pelepasan muatan sedikit demi sedikit. Kurva arus/tegangan yang curam menunjukkan pelepasan muatan pada elektroda. Naiknya kurva dengan cepat menunjukkan reaksi tersebut memiliki karakteristik tegangan lebih yang rendah, artinya untuk tingkat pelepasan muatan yang tinggi dapat dicapai dengan tegangan lebih yang rendah. Tingginya tegangan lebih, menandai reaksi evolusi hidrogen, dinyatakan oleh kenaikan bertahap kurva arus. Saat rangkaian terbuka, reaksi pelepasan muatan dan evolusi hidrogen harus seimbang satu sama lain karena tidak ada arus yang melewati kedua elektroda. Hasil dari keseimbangan ini adalah potensial campuran U_M pada gambar 2.2. Potensial campuran tidak dalam kesetimbangan potensial, karena terjadi dua reaksi yang berbeda sehingga akibatnya terjadi pelepasan muatan bertahap pada elektroda negatif.

2. Mekanisme pelepasan muatan lebih lanjut

Pelepasan muatan sendiri juga dapat disebabkan oleh zat yang dapat beroksidasi atau mereduksi di elektrolit saat mencapai elektroda positif atau negatif. Efek ini disebut juga “*shuttle*”.

3. Pelepasan muatan sendiri nyata (*apparent self-discharge*)

Setelah sel primer disimpan cukup lama, kenaikan resistansi internal sering disalahartikan sebagai pelepasan muatan sendiri. Kapasitas yang dikirirkan selanjutnya akan berkurang seiring bertambahnya tegangan jatuh, meskipun elektroda masih terisi penuh.

4. Rugi kapasitas selama penyimpanan

Karena penyebab-penyebab yang telah disebutkan di atas, kapasitas baterai akan berkurang selama penyimpanan. Banyaknya rugi kapasitas baterai ini ditentukan oleh sistem, konstruksi, dan kondisi penyimpanan, seperti temperatur. Pada umumnya, ada perbedaan yang nyata rugi kapasitas antara baterai primer dan sekunder selama penyimpanan. Baterai sekunder memiliki rugi kapasitas yang lebih cepat. Di dalam sebuah sistem, pelepasan muatan sendiri berkaitan dengan daya keluaran spesifik, contohnya semakin besar daya keluaran spesifik semakin besar rugi kapasitas selama penyimpanan. Sebagai tambahan dalam istilah rugi kapasitas ΔC_S adalah istilah kapasitas penyimpanan (*capacity retention*) ΔC_R . Kapasitas penyimpanan didefinisikan sebagai

$$\frac{\Delta C_R}{C} = 1 - \frac{\Delta C_S}{C} \quad (2.5)$$

dengan C adalah kapasitas awal baterai saat masih baru dan diisi.

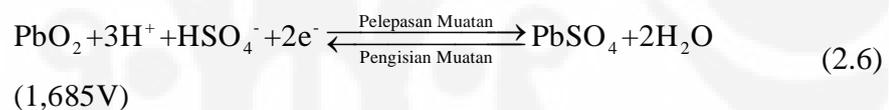
2.3. Baterai *Lead Acid*

Saat ini jenis baterai yang paling umum digunakan untuk penyimpanan energi adalah baterai *lead acid*. Baterai ini paling sering digunakan karena harganya yang lebih murah dibandingkan dengan jenis baterai lain. Baterai ini memiliki karakteristik yaitu menggunakan timbal (Pb) pada kedua elektroda

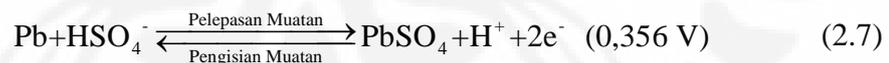
sebagai material aktifnya. Pada kondisi bermuatan, elektroda positif terdiri dari timbal dioksida (PbO_2) sedangkan elektroda negatif terdiri dari timbal murni (Pb). Sebuah membran dilekatkan untuk memisahkan kedua elektroda. Cairan asam sulfat (H_2SO_4) diisi pada ruangan di antara kedua elektroda sebagai elektrolit. Baterai *lead acid* yang terisi penuh memiliki kepadatan asam sekitar 1,24 kg/liter pada temperatur 25°C . Kepadatan asam ini berubah-ubah sesuai temperatur dan keadaan muatan baterai. Alat pengukur kepadatan asam atau voltmeter dapat menyatakan keadaan muatan dari baterai.

Semua baterai *lead acid* beroperasi dengan reaksi dasar yang sama. Saat baterai melepaskan muatan, material aktif pada elektroda bereaksi dengan elektrolit membentuk timbal sulfat (PbSO_4) dan air (H_2O). Saat pengisian muatan, timbal sulfat berubah kembali menjadi timbal dioksida pada elektroda positif dan timbal pada elektroda negatif, dan ion sulfat (SO_4^{2-}) kembali menjadi larutan elektrolit membentuk asam sulfat. Berikut adalah reaksi yang terjadi di dalam sel.

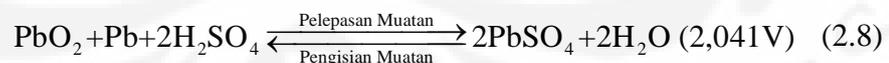
Pada elektroda positif



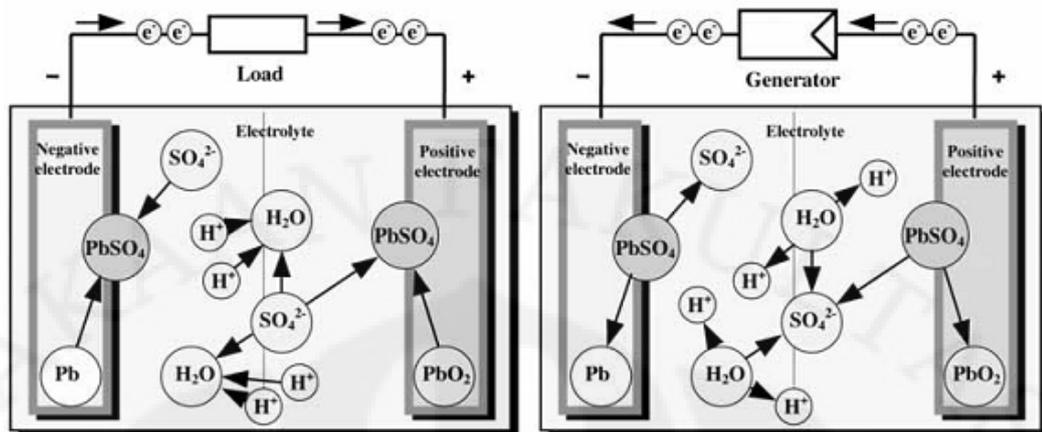
Pada elektroda negatif



Reaksi keseluruhan sel

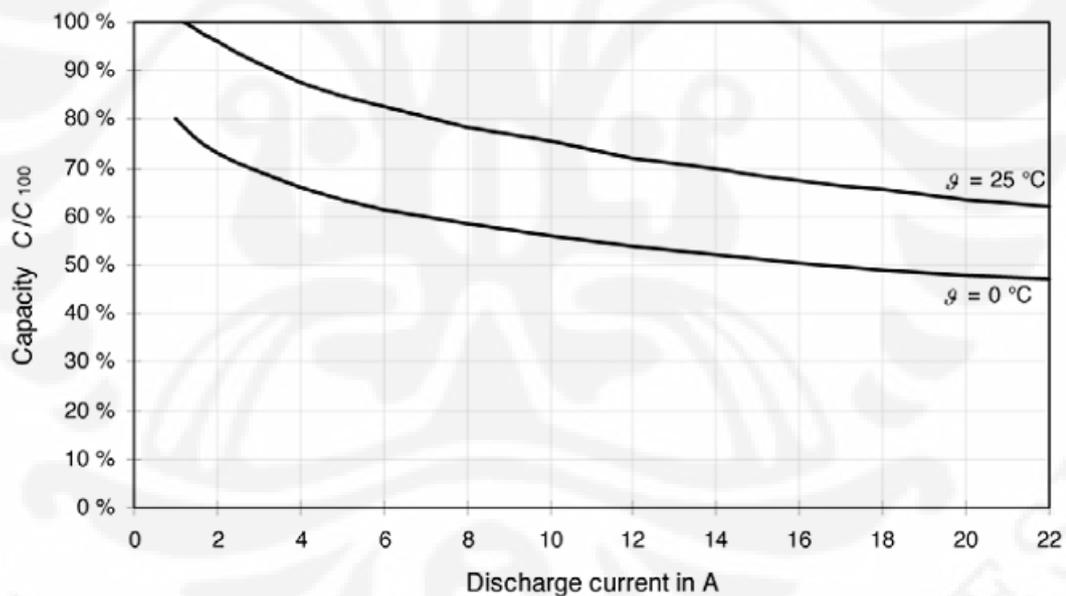


Dari reaksi tersebut akan timbul beda potensial maksimal 2,041 volt pada keadaan rangkaian terbuka. Reaksi pada baterai *lead acid* tersebut dapat digambarkan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2.3. Pelepasan dan pengisian muatan pada baterai *lead acid*.

Kapasitas yang dapat digunakan pada sebuah baterai tergantung pada arus pelepasan muatannya. Semakin besar arus pelepasan muatannya semakin kecil kapasitas yang dapat digunakan baterai dan tegangan pelepasan muatan akan lebih cepat dicapai. Berikut adalah grafik yang menunjukkan hubungan tersebut.



Gambar 2.4. Grafik hubungan kapasitas yang dapat digunakan dengan arus pelepasan muatan dan temperatur pada baterai *lead acid* berkapasitas 100 Ah.

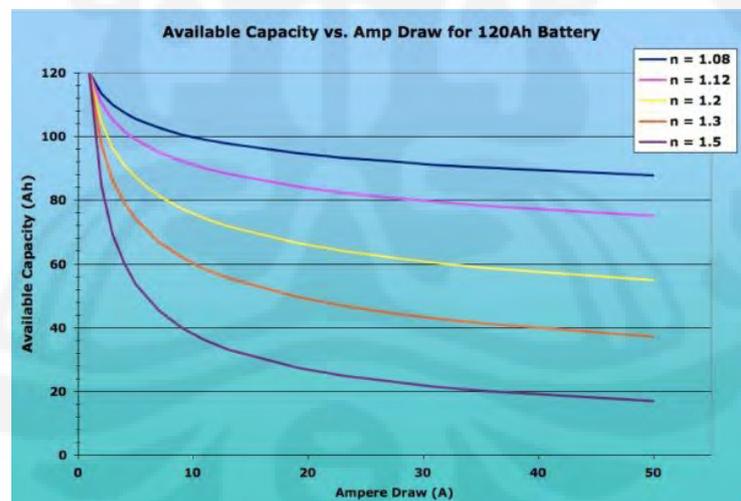
C_{100} dalam grafik tersebut berarti kapasitas ini dapat digunakan ketika arus saat pelepasan muatan besarnya sedemikian sehingga baterai mencapai tegangan akhir pelepasan muatan selama 100 jam. Sebuah baterai memiliki kapasitas $C_{100} = 100$ Ah dengan arus pelepasan muatan 1 A. Jika arus pelepasan muatan sebesar 8

A maka kapasitas baterai yang dapat digunakan hanya sekitar 80% dari kapasitas C_{100} . Umur penggunaan baterai, seperti banyaknya siklus yang dapat dilakukan, akan berkurang dengan naiknya temperatur dan semakin dalam pelepasan muatan. Kedalaman pelepasan muatan yang direkomendasikan adalah 80%, sedangkan untuk kedalaman pelepasan muatan di atas 50% sebaiknya dihindari.

Hubungan antara kapasitas yang dapat dipakai dan arus pelepasan muatan berkaitan dengan efek Peukert. Efek Peukert berkaitan dengan resistansi internal baterai. Semakin besar resistansi internal semakin besar rugi-rugi selama pencatutan dan pelepasan muatan, yang terjadi saat arus yang tinggi. Hal ini berarti semakin cepat baterai mengalami pelepasan muatan, semakin sedikit kapasitas yang digunakan. Efek Peukert dapat dijelaskan dengan persamaan di bawah ini.

$$C_p = I^k t$$

dengan C_p adalah kapasitas baterai, I adalah arus, t adalah waktu, dan k adalah konstanta Peukert dan biasanya berkisar dari 1 sampai 1,2. Efek Peukert dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.5. Efek Peukert

Baterai harus dijaga agar tidak mengalami pelepasan muatan yang dalam dan pengisian muatan yang berlebihan. Jika baterai benar-benar kosong, akan tercipta kristal timbal sulfat. Timbal sulfat jenis ini sangat sulit untuk diubah lagi dan beberapa material akan tetap menjadi kristal. Hal ini akan merusak baterai secara permanen. Oleh karena itu pelepasan muatan yang dalam harus dihindari.

Hal ini dapat dilakukan dengan memutus beban saat kapasitas baterai memiliki sisa 30%. Selain itu, baterai dapat mengalami kerusakan akibat pelepasan muatan sendiri karena disimpan terlalu lama. Oleh karena itu, baterai harus diisi secara rutin untuk menghindari kerusakan akibat pelepasan muatan sendiri.

Jika baterai *lead acid* terus menerus diisi, baterai akan menghasilkan gas. Elektrolisis mengubah air di dalam elektrolit menjadi oksigen dan hidrogen dan gas-gas ini keluar dari baterai. Untuk itu, baterai harus diisi air secara rutin. Pembentukan gas yang terus menerus dapat merusak baterai. Untuk melindungi baterai, pengisian ulang baterai harus berhenti saat tegangan antara 13,8 sampai 14,4 volt.

Berdasarkan penggunaan dan konstruksinya, baterai dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu baterai *starter* dan baterai *deep cycle*. Baterai *starter* memiliki kemampuan untuk mensuplai arus yang sangat besar dalam waktu yang sangat singkat saat awal mensuplai beban. Baterai jenis ini tidak dapat melepas muatan dengan dalam. Sedangkan baterai *deep cycle* tidak dapat mensuplai arus yang sangat besar saat *start* akan tetapi dapat digunakan untuk melepaskan muatan lebih dalam.

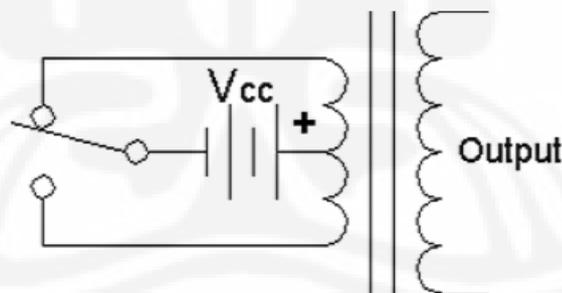
2.4. Inverter

Inverter merupakan peralatan elektronik yang berfungsi mengubah listrik arus searah menjadi listrik arus bolak-balik. Listrik arus bolak-balik yang diubah dapat bervariasi tegangan dan frekuensi tergantung pada transformator, pensaklaran, dan rangkaian kendali yang digunakan. Di bawah ini adalah contoh gambar inverter yang dijual di pasaran pada umumnya.



Gambar 2.6. Inverter

Cara kerja pada rangkaian inverter sederhana adalah dengan mengatur skalar dari sumber arus searah agar terbentuk arus bolak balik. Sumber arus searah dihubungkan ke transformator melalui tengah lilitan (*center tap*). Skalar yang sangat cepat memutus dan menghubungkan sumber arus searah dengan ujung dari lilitan primer. Skalar berpindah-pindah dari ujung lilitan primer yang satu ke ujung yang lainnya. Dengan teknik seperti ana akan menghasilkan arus bolak balik pada lilitan sekunder transformator.



Gambar 2.7. Rangkaian sederhana inverter

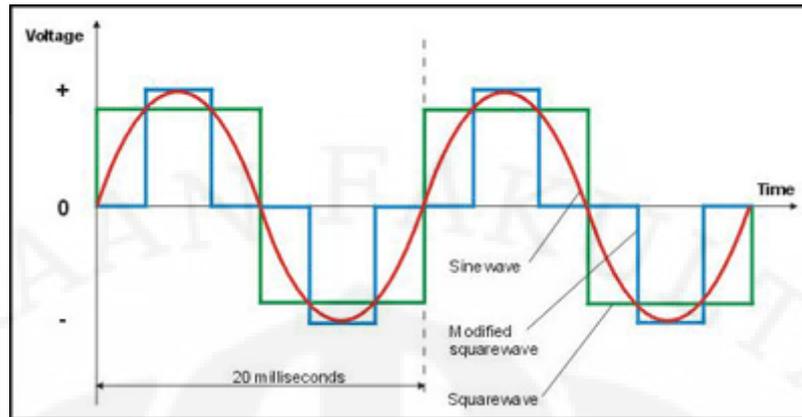
Ada dua kategori pada inverter, yaitu inverter sinkron dan inverter statis atau berdiri sendiri. Inverter sinkron merupakan inverter yang dapat terhubung dengan jaringan listrik. Sedangkan inverter statis adalah inverter yang didesain untuk penggunaan sendiri dan tidak terhubung dengan jaringan listrik.

Berdasarkan bentuk gelombang keluaran inverter, inverter dibagi menjadi 3 jenis, yaitu inverter gelombang kotak (*square wave*), gelombang sinus modifikasi (*modified sine wave*), dan gelombang sinusoidal murni (*pure sine wave*).

Inverter gelombang kotak merupakan inverter yang pertama kali dikembangkan. Inverter jenis ini cukup murah, akan tetapi pengendalian tegangan keluarannya buruk, kapasitas daya tiba-tiba yang terbatas, dan memiliki distorsi harmonik tegangan yang cukup besar.

Inverter sinusoidal modifikasi menggunakan rangkaian yang lebih rumit agar terbentuk gelombang yang lebih mirip dengan gelombang sinus. Inverter jenis ini mampu mengendalikan daya tiba-tiba yang lebih besar dan mempunyai keluaran dengan harmonik tegangan yang lebih kecil. Kelebihan dari inverter sinusoidal modifikasi adalah lebih murah, lebih kecil, dan dapat berjalan pada banyak aplikasi peralatan. Kekurangan dari inverter ini adalah daya yang dikeluarkan tidak sebaik inverter sinusoidal murni, tidak dapat digunakan pada oven microwave, mesin cuci, dan peralatan yang menggunakan pengendalian waktu, dapat mengurangi umur motor sekitar 10 – 20%, dan dapat menyebabkan suara mendesing pada beberapa peralatan, interferensi pada televisi, dan peralatan sensitif lain.

Inverter sinusoidal murni sangat baik digunakan pada rangkaian elektronik yang sensitif dan membutuhkan gelombang dengan kualitas yang baik. Inverter jenis ini memiliki distorsi harmonik tegangan yang sangat kecil dan memiliki kapasitas daya tiba-tiba mencapai dua kali atau lebih. Kelebihan dari inverter sinusoidal murni adalah daya yang dihasilkan bersih, dapat digunakan pada semua peralatan, tidak mengurangi umur motor, dan dapat mengendalikan arus tiba-tiba yang cukup tinggi. Sedangkan kekurangan dari inverter ini adalah harganya jauh lebih mahal, beberapa dapat kurang efisien tergantung pada karakteristik inverter, arus saat keadaan *standby* yang tinggi, dan lebih besar dan lebih rumit penggunaannya. Di bawah ini adalah gambar perbandingan gelombang keluaran inverter gelombang kotak, sinusoidal modifikasi, dan sinusoidal murni.



Gambar 2.8. Jenis-jenis bentuk gelombang keluaran inverter

Saat memilih inverter untuk digunakan, ada kriteria-kriteria yang harus diperhatikan, yaitu:

- Tegangan masukan ke inverter harus sesuai dengan tegangan baterai.
- Daya keluaran inverter harus mampu memenuhi beban maksimal dalam satu waktu. Ada dua rating yang berkaitan dengan daya kapasitas inverter, yaitu rating daya tiba-tiba (*surge power rating*) dan rating daya berkelanjutan (*continuous power rating*).
- Pengaturan tegangan dan frekuensi harus tepat. Tegangan dan frekuensi harus sesuai dengan sistem (220 V 50 Hz atau 110 V 60 Hz).
- Efisiensi harus tetap tinggi pada berbagai tingkat keluaran. Beberapa inverter memiliki efisiensi yang tinggi, tapi efisiensi tersebut diukur pada keadaan keluaran maksimum atau hampir maksimum dimana keadaan ini jarang terjadi.
- Konstruksi inverter harus konsisten dengan kebutuhan aplikasi.

BAB III

METODE PENGUJIAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang metode pengujian untuk mendapatkan karakteristik kapasitas aki terhadap operasional beberapa jenis beban. Selain itu juga dilakukan pengujian dengan studi kasus menggunakan beban pendingin ruangan(AC). Metode pengujian ini meliputi peralatan pengujian, rangkaian pengujian, serta tahap-tahap pengujian yang dilakukan.

3.1. Peralatan Pengujian

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. Aki yang digunakan pada pengujian ini adalah aki GS Premier 55D26R (N50Z) dengan kapasitas 60 Ah. Peralatan yang digunakan untuk pengujian karakteristik kapasitas aki terhadap operasional beban antara lain:

1. Multimeter Kyoritsu Kew Mate Model 2001
2. Clampmeter Avo Megger DCM2039
3. Clampmeter Kyoritsu Kew Snap Model 2007A
4. Inverter Souer 600 watt
5. Variabel resistor
6. Variabel induktor
7. Variabel kapasitor
8. Pendingin ruangan LG ½ pk (320 watt)

Untuk lebih jelasnya tentang peralatan-peralatan yang digunakan dalam pengujian ini, di bawah ini adalah gambar dari peralatan tersebut.



Gambar 3.1. Aki GS Premier 55D26R



Gambar 3.2. Multimeter Kyoritsu
Kew Mate Model 2001



Gambar 3.3. Clampmeter Avo
Megger DCM2039



Gambar 3.4. Clampmeter Kyoritsu
Kew Snap Model 2007A



Gambar 3.5. Inverter Suoer 600 watt



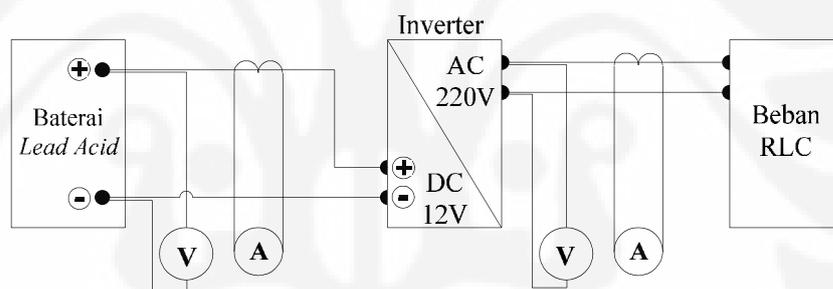
Gambar 3.6. Beban variabel

3.2. Rangkaian Pengujian

Ada dua jenis pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian dengan menggunakan beban variabel RLC dan pengujian studi kasus dengan menggunakan pendingin ruangan (AC).

3.2.1. Pengujian Karakteristik Aki Dengan Beban RLC

Pengujian yang pertama adalah pengujian karakteristik aki terhadap operasional beban RLC. Rangkaian dari pengujian tersebut adalah dengan menghubungkan aki ke inverter guna mengubah tegangan arus searah dari aki menjadi tegangan arus bolak balik agar dapat digunakan beban RLC. Alat ukur dipasang pada aki dan keluaran inverter untuk mendapatkan karakteristik tegangan dan arus pada aki dan keluaran dari inverter. Untuk lebih jelasnya di bawah ini adalah gambar rangkaian tersebut.



Gambar 3.7. Rangkaian pengujian karakteristik aki dengan beban RLC

a. Persiapan Pengujian

Persiapan pengujian adalah persiapan-persiapan yang harus dilakukan sebelum melakukan pengujian. Persiapan pengujian ini meliputi beberapa tahap, antara lain:

1. Mengisi baterai sampai keadaan muatan penuh. Dalam hal ini yang dijadikan parameter penuhnya baterai adalah tegangan rangkaian terbuka baterai. Baterai diisi sampai sampai baterai mencapai tegangan rangkaian terbuka sebesar 13,2 volt.
2. Memasang baterai dan alat ukur seperti pada rangkaian percobaan dan pastikan pemasangan secara baik dan benar.

3. Menentukan besar beban yang akan diuji dengan mengatur besar variabel resistor, induktor, atau kapasitor.
4. Menyiapkan lembar data untuk menulis data pengujian dan *stopwatch* untuk panduan waktu.

b. Jalannya Pengujian

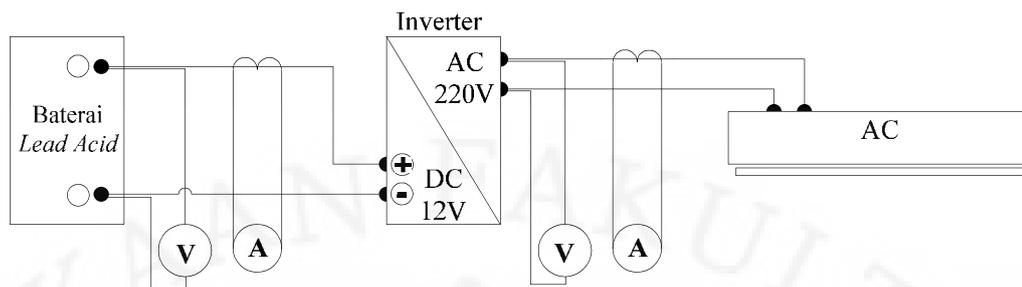
Pada pengujian ini beban yang diuji adalah beban yang bersifat resistif, induktif, dan kapasitif dengan besar VA yang sama. Untuk beban kapasitif dan induktif, pada VA yang sama besar reaktasinya juga sama sehingga dengan VA yang sama memiliki faktor daya yang sama, hanya berbeda *lead* dan *lag* saja.

Besar VA yang akan diuji adalah 106,7 VA, 208,7VA, dan 366,1VA. Dengan tegangan sebesar 220 volt, 106,7 VA setara dengan $453,5\Omega$ untuk beban resistif, resistor 440Ω dan induktor $0,35H$ yang dipasang seri, $440+j110\Omega$, untuk beban induktif, atau resistor 440Ω dan kapasitor $28,8\mu F$ yang dipasang seri, $440-j110\Omega$, untuk beban kapasitif. Sementara untuk beban sebesar 208,7VA, beban setara dengan $231,9\Omega$ untuk beban resistif, resistor 220Ω dan induktor $0,23H$ yang dipasang seri, $220+j73,3\Omega$, untuk beban induktif, atau resistor 220Ω dan kapasitor $43,2\mu F$ yang dipasang seri, $220-j73,3\Omega$, untuk beban kapasitif. Yang terakhir adalah beban 366,1VA yang setara dengan $132,2\Omega$ untuk beban resistif, resistor 110Ω dan induktor $0,23H$ yang dipasang seri, $110+j73,3\Omega$, untuk beban induktif, atau resistor 110Ω dan kapasitor $43,2\mu F$ yang dipasang seri, $110-j73,3\Omega$, untuk beban kapasitif.

Setelah semua rangkaian telah disusun dengan beban yang telah ditentukan maka pengujian dapat langsung dilakukan. *Stopwatch* disiapkan untuk mencatat waktu. Interval waktu untuk pengambilan data adalah tiap satu menit. Pengambilan data dimulai dari penyalaan inverter sampai dengan inverter memutus suplai dari baterai.

3.2.2. Pengujian Karakteristik Aki Dengan Beban AC

Pengujian berikutnya adalah pengujian dengan studi kasus dengan beban rumah tangga. Beban yang digunakan disini adalah beban AC. Rangkaian percobaan dari pengujian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3.8. Rangkaian pengujian karakteristik aki dengan beban AC

AC yang diuji memiliki kapasitas $\frac{1}{2}$ pk atau sebesar 320 watt. Karena beban yang cukup besar maka inverter yang digunakan untuk pengujian ini juga berbeda. Inverter yang digunakan memiliki kapasitas 1000 watt. Persiapan yang dilakukan pada percobaan ini hampir sama dengan percobaan dengan beban RLC. Yaitu dengan mengisi aki sampai tegangan 13,2 volt, mempersiapkan lembar data, *stopwatch*, dan merangkai seperti pada gambar.

Jalannya percobaan dengan beban AC ini juga hampir sama dengan pengujian dengan beban RLC. Pengambilan data dimulai dari inverter dinyalakan. AC dinyalakan sesaat setelah inverter dinyalakan dan AC diset pada suhu 20°C. Pengambilan data diambil dalam interval waktu satu menit.

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Setelah melakukan pengujian karakteristik aki dengan beban resistif, induktif, dan kapasitif dengan besar daya yang berbeda-beda maka diperoleh hasil pengujian karakteristik aki yang direpresentasikan dengan tegangan aki.

4.1. Pengujian Dengan Tipe Beban Yang Sama

Pada subbab ini data hasil pengujian yang akan dianalisa adalah pengujian dengan jenis beban yang sama dengan besar daya yang berbeda-beda.

4.1.1. Beban Resistif

Beban yang diuji adalah resistor dengan besar 453,5 Ω , 231,9 Ω , dan 132,2 Ω . Secara perhitungan besar daya yang dikonsumsi masing-masing beban adalah sebagai berikut.

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{220^2}{453,5} = 106,7 \text{ watt} \quad (4.1)$$

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{220^2}{231,9} = 208,7 \text{ watt} \quad (4.2)$$

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{220^2}{132,2} = 366,1 \text{ watt} \quad (4.3)$$

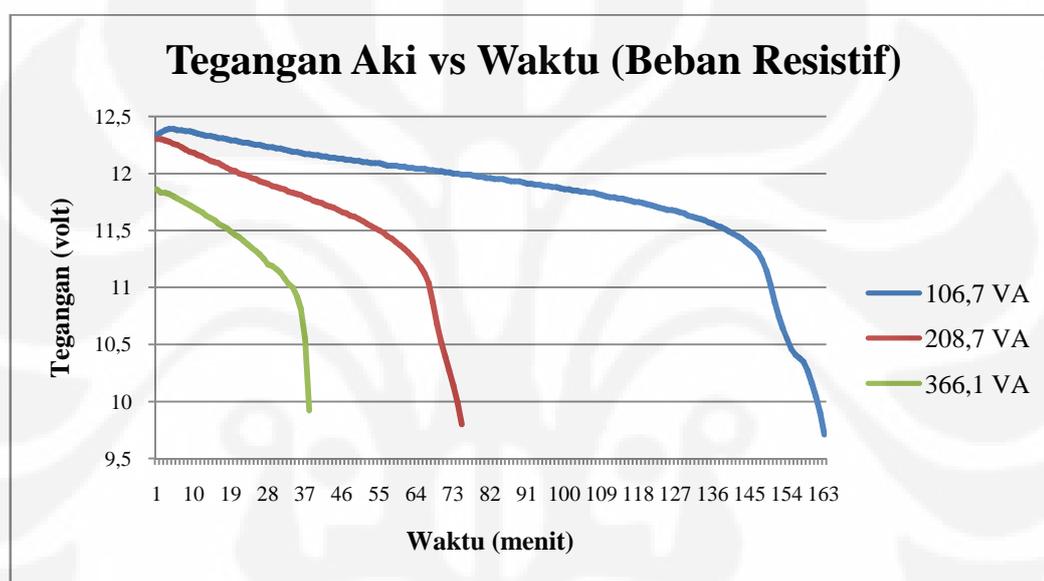
Karena beban yang digunakan adalah beban resistif maka besar daya kompleks dari beban resistif tersebut sama dengan daya nyata.

Kapasitas baterai yang digunakan dalam pengujian ini adalah 60 Ah. Besar tegangan dari baterai adalah 12 volt sehingga potensial daya yang tersimpan dalam baterai tersebut adalah sebesar $12 \times 60 = 720$ Wh. Dengan perhitungan matematis, lama waktu baterai yang menyuplai daya ke masing-masing beban dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.1. Perhitungan lama waktu baterai mensuplai beban resistif

Kapasitas Baterai	Besar Beban	Waktu
720 Wh	106,7 VA	6,75 jam atau 405 menit
720 Wh	208,7 VA	3,45 jam atau 207 menit
720 Wh	366,1 VA	2 jam atau 120 menit

Karakteristik kapasitas baterai dalam skripsi ini direpresentasikan dalam grafik tegangan baterai. Hasil pengujian karakteristik baterai terhadap beban resistif dengan besar beban yang berbeda-beda dapat dilihat pada grafik di bawah ini.

**Gambar 4.1.** Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban resistif

Dari grafik di atas terlihat dengan beban resistif 106,7 VA baterai mensuplai daya selama 163 menit dengan penurunan tegangan yang cukup linier dari 12,34 volt di menit pertama sampai 11,24 volt pada menit ke-148 atau penurunan tegangan sebesar 1,10 volt selama 148 menit (gradien $-0,007$). Setelah menit 148 penurunan tegangan terjadi sangat drastis. Hal ini merupakan karakteristik umum dari baterai dimana baterai akan menunjukkan penurunan tegangan yang sangat curam setelah melewati tegangan *cut off*. Total energi yang disuplai baterai pada beban ini adalah 368,5 Wh.

Untuk beban 208,7 VA, baterai mensuplai beban selama 75 menit. Penurunan tegangan yang cukup linier dari 12,30 volt di menit pertama sampai 11,04 volt pada menit ke-67 atau penurunan tegangan sebesar 1,26 volt selama 67

menit (gradien -0,019). Setelah menit ke-67, baterai menunjukkan penurunan tegangan yang sangat curam. Jumlah energi yang disuplai baterai pada beban ini adalah 310 Wh.

Selanjutnya untuk beban 366,1 VA baterai mensuplai selama 38 menit. Penurunan tegangan yang cukup linier terjadi dari 11,86 volt di menit pertama sampai 11 volt pada menit ke-36 atau penurunan tegangan sebesar 0,86 volt selama 36 menit (gradien -0,024). Setelah menit ke-36, baterai menunjukkan penurunan tegangan yang drastis. Energi yang disuplai baterai terhadap beban ini adalah 268,8 Wh.

4.1.2. Beban Induktif

Pada pengujian ini, beban yang digunakan adalah beban resistor dan induktor yang dipasang seri. Besar impedansi yang digunakan pada pengujian ini adalah $440+j110\Omega$, $220+j73,3\Omega$, dan $110+j73,3\Omega$. Secara perhitungan, daya dari masing-masing beban tersebut adalah sebagai berikut.

$$S = \frac{V^2}{Z} = \frac{220^2}{453,5} = 106,7 \text{ VA} \quad (4.4)$$

$$S = \frac{V^2}{Z} = \frac{220^2}{231,9} = 208,7 \text{ VA} \quad (4.5)$$

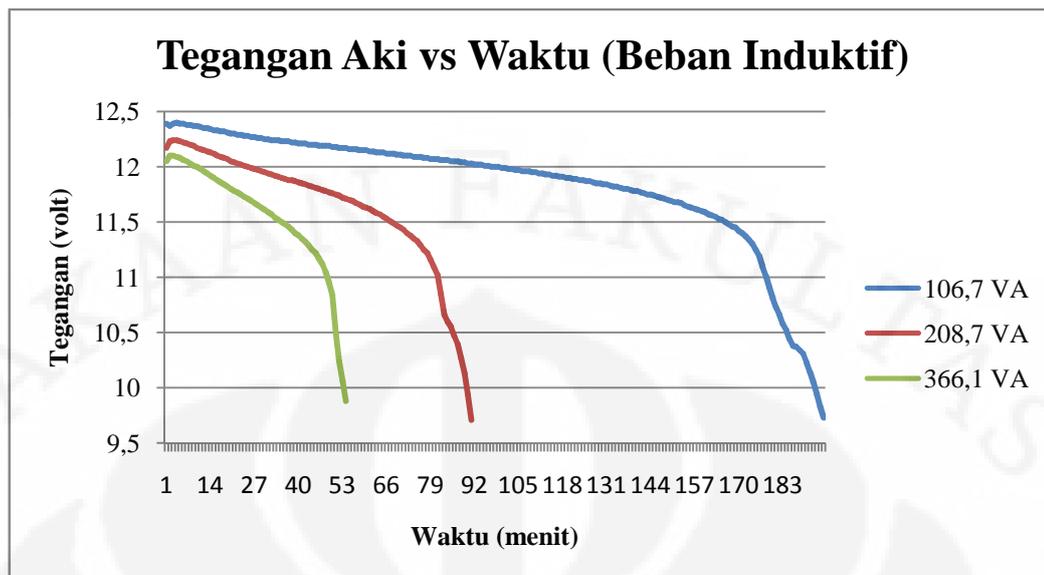
$$S = \frac{V^2}{Z} = \frac{220^2}{132,2} = 366,1 \text{ VA} \quad (4.6)$$

Dengan perhitungan daya tersebut dan potensi energi yang tersimpan di dalam baterai sebesar 720 Wh, maka lama waktu baterai dapat mensuplai beban adalah sebagai berikut.

Tabel 4.2. Perhitungan lama waktu baterai mensuplai beban induktif

Kapasitas Baterai	Besar Beban	Waktu
720 Wh	106,7 VA	6,75 jam atau 405 menit
720 Wh	208,7 VA	3,45 jam atau 207 menit
720 Wh	366,1 VA	2 jam atau 120 menit

Hasil pengujian karakteristik kapasitas aki pada beban induktif dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.2. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban induktif

Pada pengujian dengan beban induktif sebesar 106,7 VA, baterai mensuplai beban selama 195 menit. Dari gambar 4.2. terlihat grafik penurunan tegangan yang cukup linier dari 12,39 volt pada menit pertama sampai 11,30 volt pada menit ke-174. Penurunan tegangan yang cukup linier tersebut terjadi sebanyak 1,09 volt selama 174 menit (gradien $-0,006$). Setelah menit ke-174, grafik tegangan menunjukkan penurunan yang sangat dalam. Energi yang disuplai baterai untuk beban induktif sebesar 106,7 VA sampai inverter memutus suplai adalah 409,4 Wh.

Dengan beban induktif sebesar 208,7 VA, baterai dapat mensuplai daya selama 91 menit. Penurunan tegangan yang terlihat linier terjadi sebanyak 0,95 volt selama 78 menit dengan gradien kemiringan $-0,012$, yaitu dari 12,17 volt di menit pertama sampai 11,22 volt pada menit ke-78. Pada menit setelah menit ke-78, grafik penurunan tegangan baterai menunjukkan penurunan yang sangat curam. Total energi yang disuplai baterai selama baterai mensuplai beban tersebut sampai inverter memutus beban adalah 328,8 Wh.

Pengujian beban induktif berikutnya adalah pengujian dengan daya sebesar 366,1 VA. Dengan beban ini, baterai mensuplai beban selama 54 menit. Dari gambar 4.2. grafik menunjukkan penurunan tegangan yang cukup linier sebesar 1,1 volt selama 49 menit (gradien $-0,022$). Penurunan tegangan yang cukup linier tersebut terjadi dari 12,05 volt pada menit pertama sampai 10,95 volt di menit ke-

49. Setelah itu, tegangan mengalami penurunan yang sangat drastis. Jumlah energi yang disuplai baterai pada beban ini sampai inverter memutus suplai dari baterai adalah 290,8 Wh.

4.1.3. Beban Kapasitif

Pada pengujian beban kapasitif ini, beban yang digunakan adalah beban resistor dan kapasitor yang dipasang seri. Besar impedansi yang digunakan pada pengujian ini adalah $440-j110\Omega$, $220-j73,3\Omega$, dan $110-j73,3\Omega$. Besar reaktansi dari beban kapasitif dibuat sama dengan reaktansi beban induktif. Dengan melakukan hal tersebut didapat besar faktor daya yang sama pada besar daya yang sama, hanya berbeda *lead* dan *lag* saja. Hal ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh jenis-jenis beban yang akan dijelaskan pada subbab berikutnya. Secara perhitungan, daya dari masing-masing beban tersebut dapat dilihat di bawah ini.

$$S = \frac{V^2}{Z} = \frac{220^2}{453,5} = 106,7 \text{ VA} \quad (4.7)$$

$$S = \frac{V^2}{Z} = \frac{220^2}{231,9} = 208,7 \text{ VA} \quad (4.8)$$

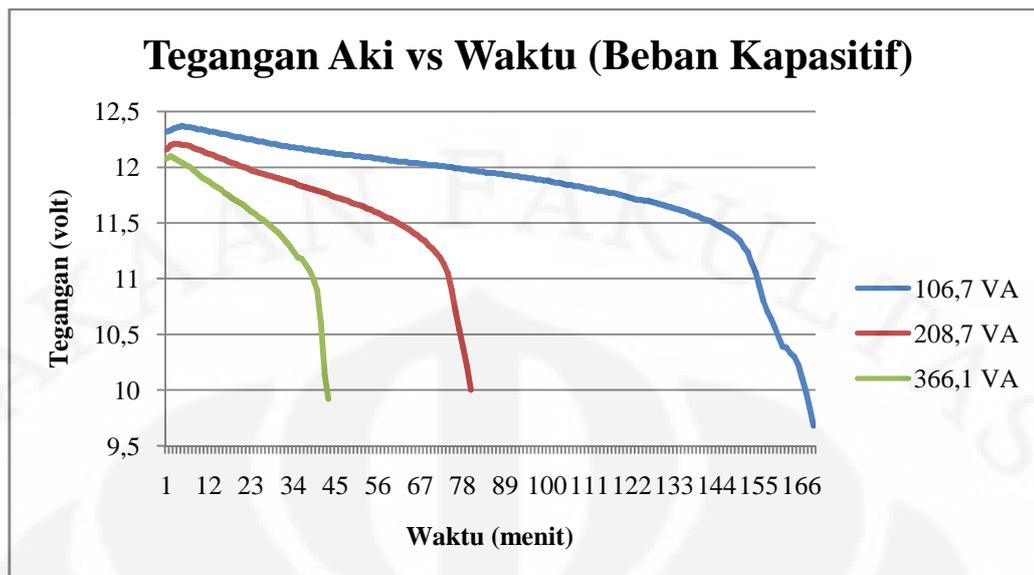
$$S = \frac{V^2}{Z} = \frac{220^2}{132,2} = 366,1 \text{ VA} \quad (4.9)$$

P energi yang tersimpan di dalam baterai sebesar 720 Wh. Dengan perhitungan daya di atas didapat perhitungan lama waktu baterai dapat mensuplai beban adalah sebagai berikut.

Tabel 4.3. Perhitungan lama waktu baterai mensuplai beban kapasitif

Kapasitas Baterai	Besar Beban	Waktu
720 Wh	106,7 VA	6,75 jam atau 405 menit
720 Wh	208,7 VA	3,45 jam atau 207 menit
720 Wh	366,1 VA	2 jam atau 120 menit

Setelah dilakukan pengujian, didapat karakteristik tegangan baterai untuk pelepasan muatan pada masing-masing beban tersebut. Karakteristik tegangan tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.3. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban kapasitif

Untuk beban kapasitif sebesar 106,7 VA, baterai mensuplai selama 169 menit sebelum inverter memutus suplai karena tegangan baterai terlalu rendah. Dari grafik pada gambar 4.3. terlihat penurunan tegangan yang cukup linier dari 12,32 volt di menit pertama sampai 11,34 volt pada menit ke-150 atau sebanyak 0,98 volt selama 150 menit yang memiliki gradien kemiringan $-0,006$. Selanjutnya dari menit ke-150 sampai baterai terputus dari beban terjadi penurunan tegangan yang sangat drastis. Jumlah energi yang disalurkan baterai ke beban selama 169 menit tersebut adalah 377,2 Wh.

Selanjutnya adalah pengujian dengan beban kapasitif sebesar 208,7 VA. Baterai mensuplai beban ini selama 80 menit. Total energi yang disuplai baterai selama waktu tersebut adalah 328,3 Wh. Selama pelepasan muatan, tegangan baterai menunjukkan penurunan tegangan yang linier dari 12,16 volt di menit pertama sampai 11,05 volt di menit ke-74 atau sebanyak 1,11 volt selama 74 menit (gradien $-0,015$). Setelah menit ke-74, tegangan baterai menunjukkan penurunan yang sangat curam sampai inverter memutus suplai.

Untuk beban 366,1 VA, baterai mensuplai beban selama 43 menit. Penurunan tegangan yang cukup linier dari 12,08 volt di menit pertama sampai 10,90 volt pada menit ke-40 atau penurunan tegangan sebesar 1,18 volt selama 40 menit dengan gradien kemiringan $-0,03$. Setelah menit ke-40, baterai menunjukkan

penurunan tegangan yang sangat curam. Jumlah energi yang disuplai baterai pada beban ini adalah 281,1 Wh.

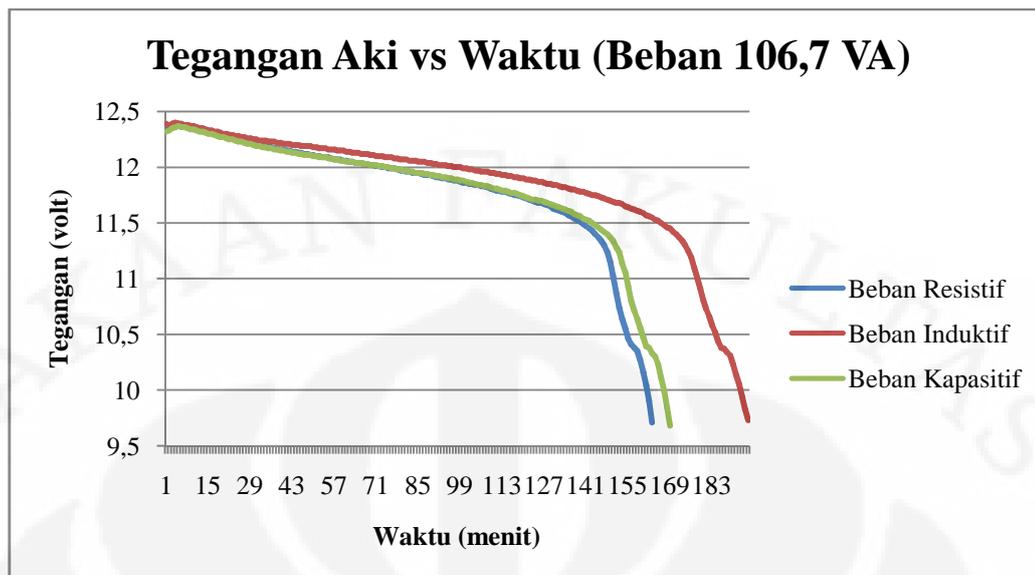
Dari pengujian ketiga jenis beban ini terlihat semakin besar daya yang disuplai baterai semakin curam penurunan tegangan baterai. Total energi yang disuplai baterai semakin sedikit dengan semakin besarnya daya beban. Selain itu, lama waktu baterai mensuplai beban jauh dari perhitungan. Hal ini disebabkan karena lama waktu secara perhitungan tersebut menggunakan asumsi kedalaman pelepasan muatan (*Deep of Discharge/DOD*) sebanyak 100%. Pada aplikasinya, DOD baterai sebaiknya tidak boleh lebih dari 50% karena akan merusak baterai. Hal ini juga dapat dilihat dari total energi yang disuplai ke beban jumlahnya hampir tidak mencapai 50% dari potensial energi baterai secara perhitungan. Karena alasan keamanan ini, inverter memberi batasan tegangan minimal baterai sekitar 9,8 volt sehingga jika baterai mencapai tegangan 9,8 volt inverter akan memutus suplai dari baterai.

4.2. Pengujian Dengan Daya Yang Sama

Pada bagian ini, pengujian yang dilakukan adalah pengujian beban resistif, induktif, dan kapasitif dengan besar beban yang sama. Besar beban yang diuji antara lain 106,7 VA, 208,7 VA, dan 366,1 VA.

4.2.1. Daya Beban 106,7 VA

Pada bagian ini, hasil dari pengujian beban resistif, induktif, dan kapasitif akan dibandingkan hasilnya. Beban-beban yang digunakan adalah resistor 453,5 Ω untuk beban resistif, resistor 440 Ω dan induktor 0,35H yang dipasang seri untuk beban induktif, dan resistor 440 Ω dan kapasitor 28,8 μ F yang dipasang seri untuk beban kapasitif. Jika dilihat dari hasil perhitungan yang ada pada subbab sebelumnya, lama waktu pensuplaian baterai akan sama saja karena besar beban memiliki daya yang sama, yaitu selama 405 menit. Karakteristik tegangan baterai selama pelepasan muatan untuk mensuplai ketiga jenis beban tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



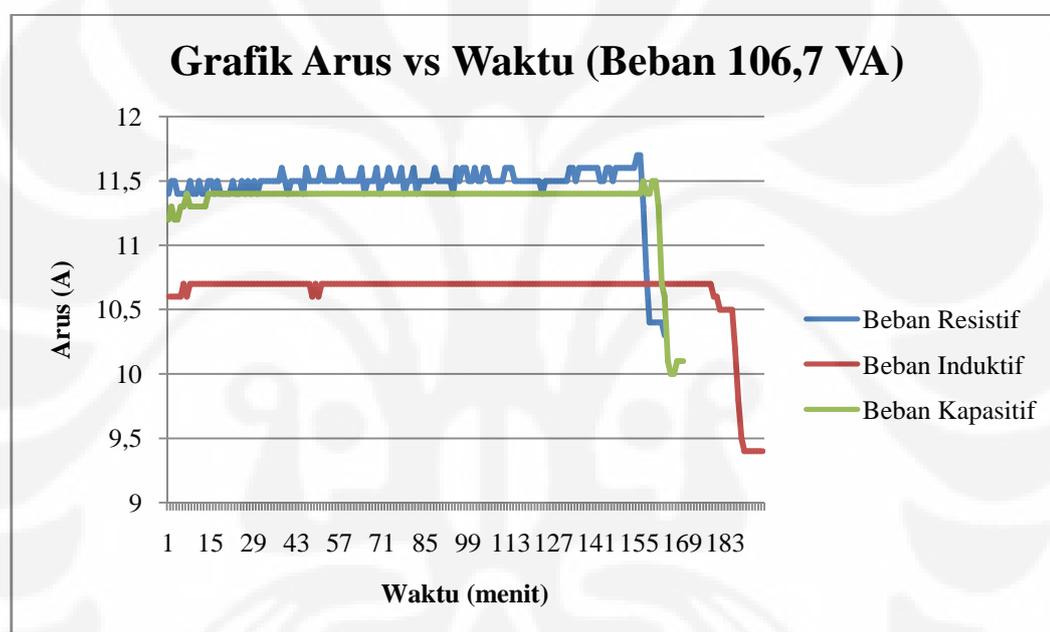
Gambar 4.4. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban 106,7VA

Dari grafik di atas terlihat bahwa waktu pensuplaian baterai untuk ketiga jenis beban dengan daya yang sama ternyata berbeda. Baterai mensuplai selama 163 menit untuk beban resistif, 195 menit untuk beban induktif, dan 169 menit untuk beban kapasitif. Berbedanya lama pensuplaian baterai ini dipengaruhi oleh besar arus pelepasan muatan pada masing-masing beban. Selain itu, lama waktu baterai mensuplai baterai juga jauh lebih cepat dari perhitungan. Hal ini disebabkan karena pembatasan kedalaman pelepasan muatan (DOD) yang sebaiknya tidak boleh melebihi 50% seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Pada beban resistif, arus pelepasan muatan rata-rata sebesar 11,40 A. Pada beban induktif, besar arus selama pelepasan muatan rata-rata adalah 10,63 A. Dan untuk beban kapasitif, arus pelepasan muatan rata-rata adalah 11,34 A. Semakin besar arus selama pelepasan muatan, semakin cepat keadaan muatan baterai habis sehingga semakin cepat inverter memutuskan suplai dari baterai.

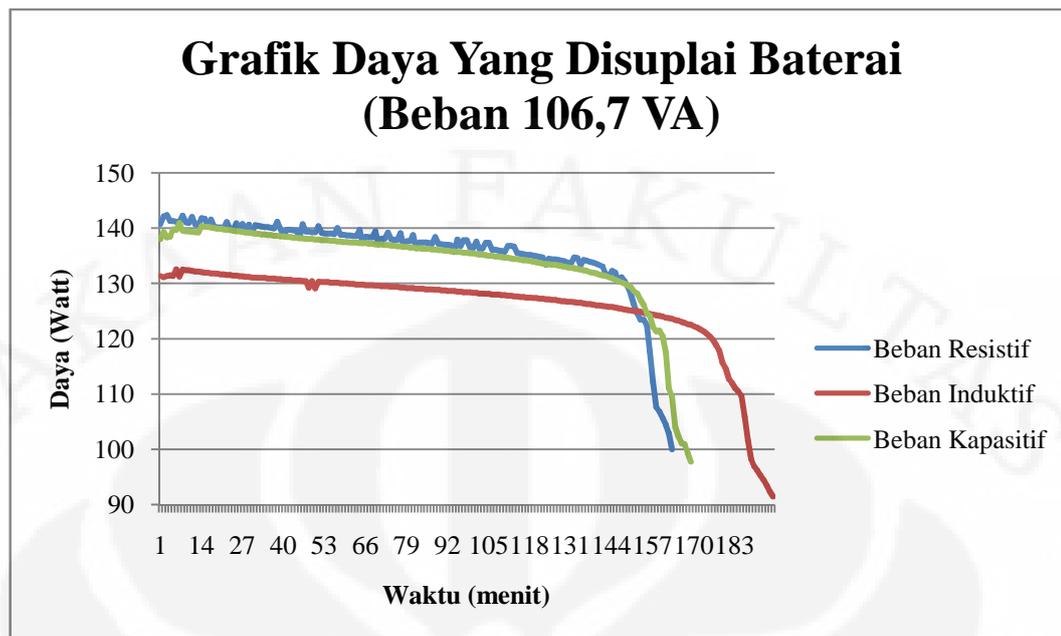
Pada grafik tegangan baterai di atas, terlihat penurunan grafik yang cukup linier dari awal sampai tegangan mencapai 11,5 volt. Setelah itu, tegangan dari baterai menurun dengan drastis. Penurunan tegangan baterai untuk ketiga jenis beban tidak terlalu berbeda. Gradien penurunan tegangan baterai pada beban resistif adalah -0,007, untuk beban induktif adalah -0,006, dan untuk beban kapasitif adalah -0,006.

Total energi yang disuplai baterai jumlahnya berbeda-beda pada jenis beban yang berbeda. Baterai mensuplai sebanyak 368,5 Wh untuk beban resistif, 409,4 Wh untuk beban induktif, dan 377,2 Wh untuk beban kapasitif. Baterai mensuplai lebih banyak energi berbanding terbalik dengan arus pelepasan muatan baterai. Hal ini terkait dengan kapasitas muatan yang dapat digunakan tergantung pada arus pelepasan muatan baterai. Semakin besar arus pelepasan muatan baterai, semakin kecil kapasitas muatan yang dapat digunakan. Di bawah ini adalah gambar arus pelepasan muatan baterai dan daya yang disuplai baterai dari awal sampai inverter memutuskan suplai dari baterai.



Gambar 4.5. Grafik arus baterai untuk beban 106,7 VA

Dari gambar 4.5, arus pelepasan muatan baterai tidak konstan dari awal sampai inverter memutuskan beban dari baterai, akan tetapi konstan dari awal sampai baterai mencapai tegangan sekitar 10,5 volt. Setelah baterai mencapai tegangan 10,5 volt, arus pelepasan muatan baterai menurun sampai akhirnya inverter memutuskan suplai dari baterai. Penurunan arus ini disebabkan karena saat baterai mencapai tegangan sekitar 10,5 volt inverter menurunkan tegangan keluaran inverter menjadi sekitar 208 volt sehingga dengan beban yang konstan maka arusnya akan menurun.

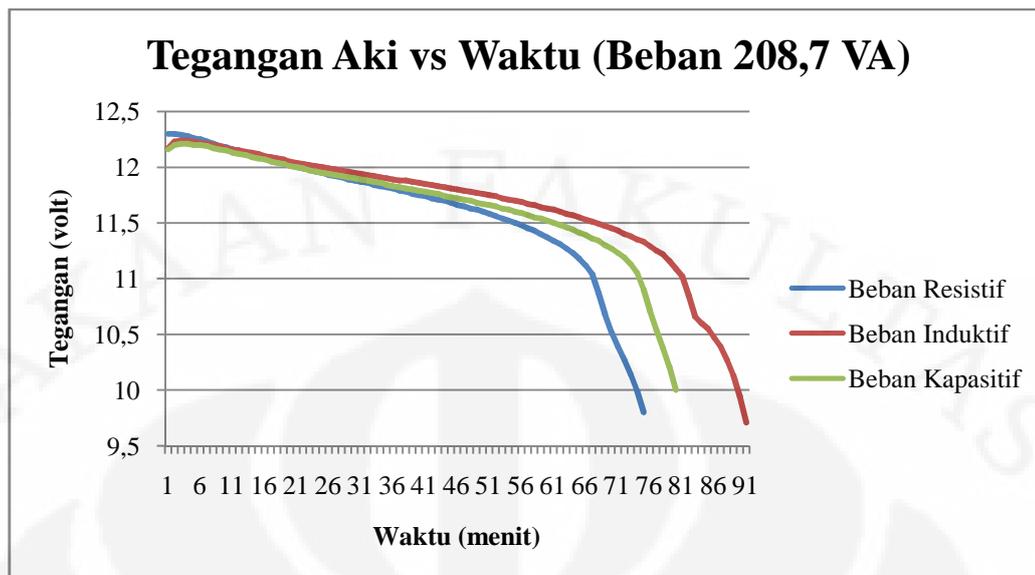


Gambar 4.6. Grafik daya yang disuplai baterai untuk beban 106,7 VA

Pada gambar 4.6., kurva daya yang disuplai baterai berkisar dari 130 sampai 140 watt. Daya yang dihasilkan baterai lebih besar dari besar beban daya karena baterai juga mensuplai daya untuk inverter dan ada rugi-rugi lain. Daya yang dihasilkan baterai menurun cukup linier dan semakin lama semakin cepat penurunan daya yang disuplai. Adanya penurunan daya yang disuplai baterai ini karena tegangan baterai selama pelepasan muatan juga menurun sedangkan arus pelepasan muatan naik sangat sedikit atau hampir konstan. Daya yang disuplai untuk beban induktif lebih rendah dari kapasitif dan induktif karena arus yang dikeluarkan baterai lebih kecil dari beban resistif dan kapasitif.

4.2.2. Daya Beban 208,7 VA

Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban sebesar 208,7 VA atau sama dengan $231,9\Omega$ untuk beban resistif, resistor 220Ω dan induktor $0,23H$ yang diseri untuk beban induktif, dan resistor 220Ω dan kapasitor $43,2\mu F$ yang diseri untuk beban kapasitif. Sesuai dengan perhitungan yang dilakukan pada subbab sebelumnya, lama waktu baterai mensuplai beban adalah selama 207 menit. Pada gambar 4.7. di bawah ini akan menunjukkan karakteristik tegangan baterai selama pelepasan muatan untuk beban dengan daya 208,7 VA.



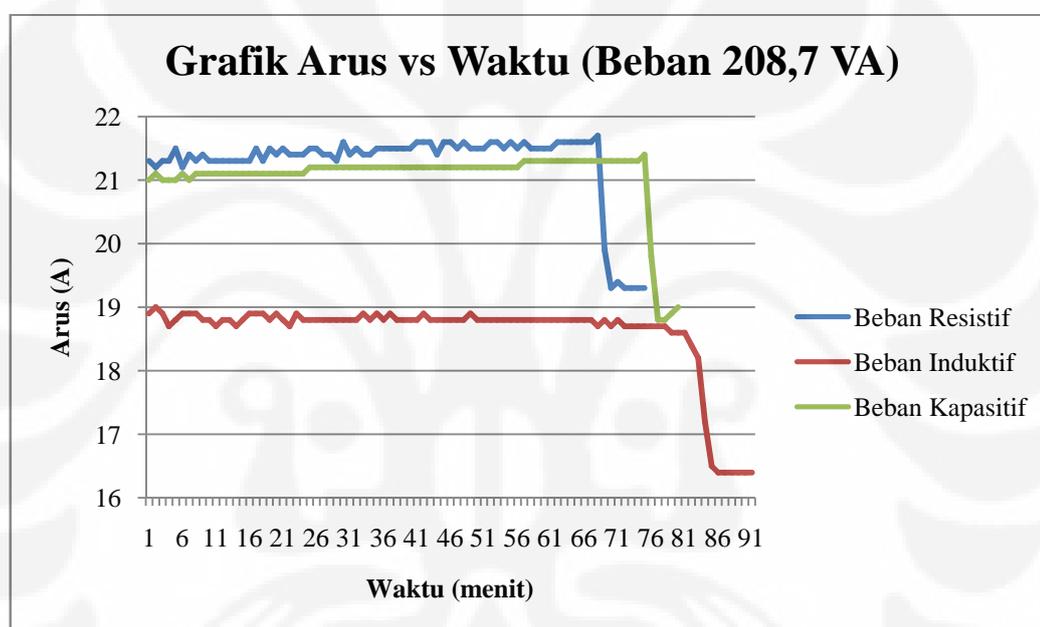
Gambar 4.7. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban 208,7VA

Seperti yang terlihat pada gambar di atas, baterai mensuplai ketiga beban dengan lama waktu yang berbeda-beda. Baterai mensuplai selama 75 menit untuk beban resistif, 91 menit untuk beban induktif, dan 80 menit untuk beban kapasitif. Berbedanya lama pensuplaian baterai ini dipengaruhi oleh besar arus pelepasan muatan pada masing-masing beban. Selain itu, lama waktu baterai mensuplai baterai juga jauh lebih cepat dari perhitungan. Hal ini disebabkan karena pembatasan kedalaman pelepasan muatan (DOD) yang sebaiknya tidak boleh melebihi 50% seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Pada beban resistif, arus pelepasan muatan rata-rata sebesar 21,27 A. Pada beban induktif, besar arus selama pelepasan muatan rata-rata adalah 18,59 A. Dan untuk beban kapasitif, arus pelepasan muatan rata-rata adalah 21,06 A. Semakin besar arus selama pelepasan muatan, semakin cepat keadaan muatan baterai habis sehingga semakin cepat inverter memutuskan suplai dari baterai.

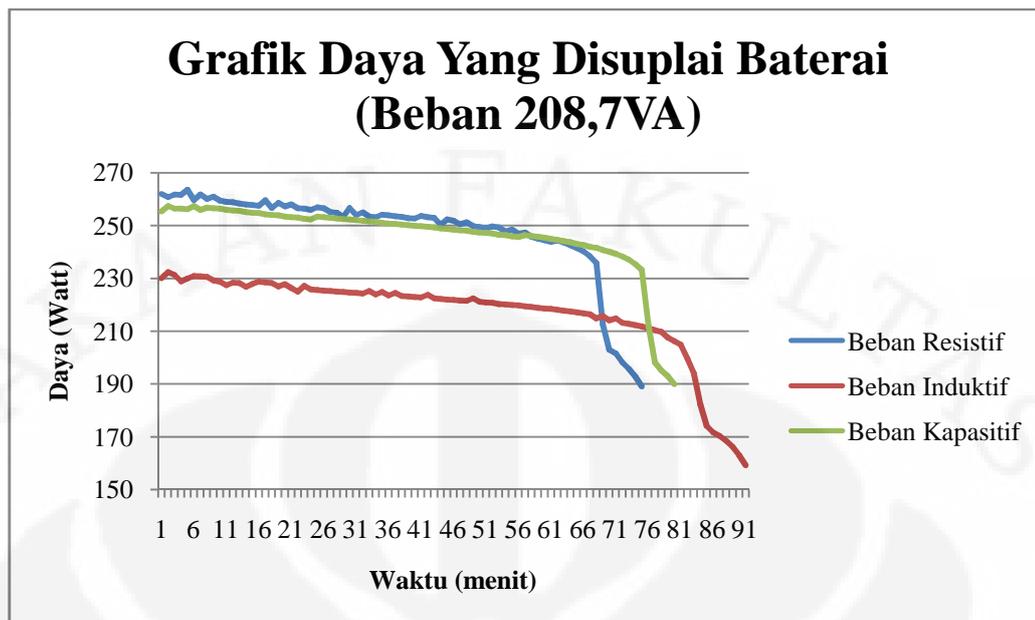
Pada grafik tegangan baterai di atas, terlihat penurunan grafik yang cukup linier dari awal sampai tegangan mencapai 11,5 volt. Setelah itu, tegangan dari baterai menurun dengan drastis. Penurunan tegangan baterai untuk ketiga jenis beban tidak terlalu berbeda. Gradien penurunan tegangan baterai pada beban resistif adalah -0,019, untuk beban induktif adalah -0,012, dan untuk beban kapasitif adalah -0,015.

Total energi yang disuplai baterai ke beban berbeda-beda pada jenis beban yang berbeda pula. Baterai mensuplai sebanyak 310 Wh untuk beban resistif, 328,8 Wh untuk beban induktif, dan 328,3 Wh untuk beban kapasitif. Banyaknya energi yang disuplai baterai berbanding terbalik dengan arus pelepasan muatan baterai. Hal ini terkait dengan kapasitas muatan yang dapat digunakan tergantung pada arus pelepasan muatan baterai. Semakin besar arus pelepasan muatan baterai, semakin kecil kapasitas muatan yang dapat digunakan. Di bawah ini adalah gambar arus pelepasan muatan baterai dan daya yang disuplai baterai dari awal sampai inverter memutuskan suplai dari baterai.



Gambar 4.8. Grafik arus baterai untuk beban 208,7 VA

Grafik arus pelepasan muatan baterai di atas menunjukkan arus yang keluar dari baterai selama pelepasan muatan. Arus yang keluar dari baterai tersebut terlihat cukup konstan dengan kenaikan arus yang sangat kecil. Di dalam gambar 4.8. juga memperlihatkan adanya penurunan arus yang keluar dari baterai. Penurunan arus tersebut terjadi saat tegangan baterai ada di sekitar 10,5 volt. Hal ini disebabkan karena saat baterai mencapai tegangan tersebut, inverter menurunkan tegangan keluaran inverter dari 230 volt menjadi sekitar 208 volt sehingga arus yang keluar dari beban juga berkurang.



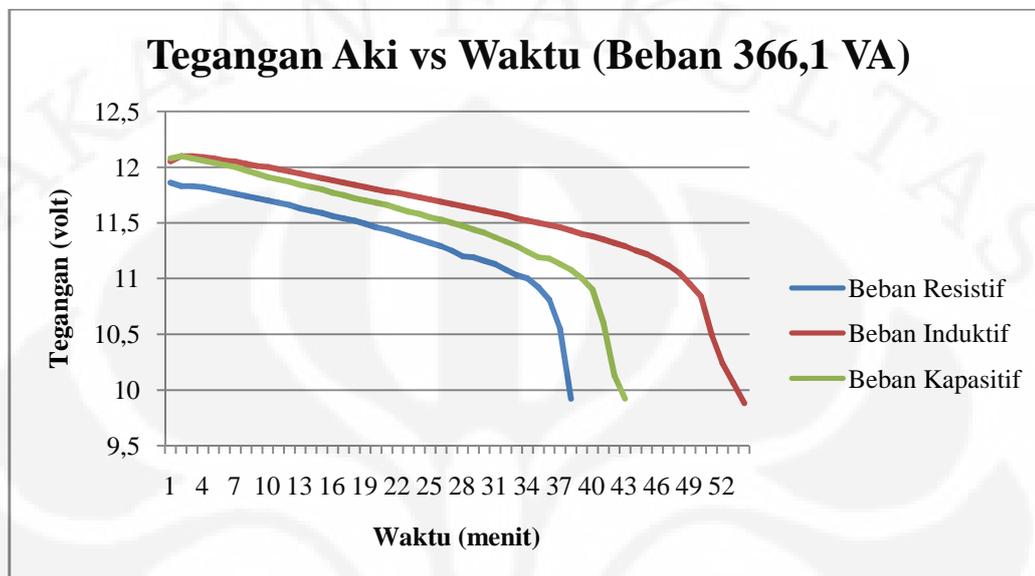
Gambar 4.9. Grafik daya yang disuplai baterai untuk beban 208,7 VA

Grafik di atas menunjukkan besar daya yang disuplai baterai untuk masing-masing beban dari awal sampai inverter memutuskan suplai. Rata-rata daya yang disuplai baterai untuk beban resistif adalah 248 watt, untuk beban induktif 216,8 watt, dan untuk beban kapasitif 246,2 watt. Rata-rata daya yang disuplai dari baterai lebih besar dari daya beban karena baterai juga mensuplai daya untuk inverter dan adanya rugi-rugi lain. Daya yang disuplai pada ketiga beban menunjukkan penurunan dari awal sampai inverter memutuskan suplai. Penurunan daya yang disuplai ini karena tegangan baterai mengalami penurunan seiring dengan pelepasan muatan dan arus yang dikeluarkan hanya mengalami kenaikan yang sedikit bahkan hampir konstan. Daya yang disuplai untuk beban induktif lebih rendah dari kapasitif dan induktif karena arus yang dikeluarkan baterai lebih kecil dari beban resistif dan kapasitif.

4.2.3. Daya Beban 366,1 VA

Beban resistif, induktif, dan kapasitif yang digunakan pada bagian ini memiliki daya 366,1 VA. beban sebesar 366,1 VA tersebut sama dengan resistor 132,2 Ω untuk beban resistif, resistor 110 Ω dan induktor 0,23H yang diseri untuk beban induktif, atau resistor 110 Ω dan kapasitor 43,2 μ F untuk beban kapasitif. Jika merujuk pada perhitungan yang telah ada pada subbab sebelumnya, baterai

dengan kapasitas 60Ah mampu mensuplai beban selama 120 menit. Karakteristik tegangan baterai selama pelepasan muatan untuk mensuplai beban-beban tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.10. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban 366,1 VA

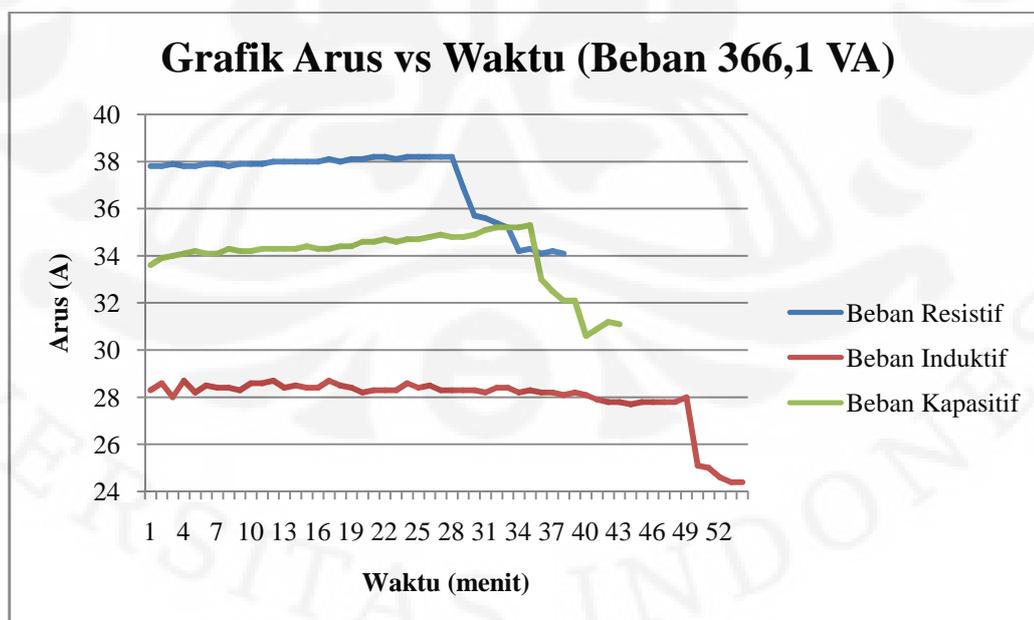
Grafik pada gambar 4.10. di atas menunjukkan ternyata baterai mensuplai beban yang dayanya sama tetapi lama menyuplainya berbeda-beda pada masing-masing jenis beban. Pada beban resistif, baterai mensuplai selama 38 menit. Untuk beban induktif, baterai mensuplai selama 54 menit. Dan untuk beban kapasitif, baterai mensuplai selama 43 menit. Baterai mensuplai beban-beban tersebut dengan waktu yang berbeda-beda karena arus selama pelepasan muatan untuk masing-masing beban juga berbeda. Di samping itu, lama waktu baterai mensuplai baterai juga jauh lebih cepat dari perhitungan. Hal ini disebabkan karena inverter membatasi tegangan minimum baterai untuk mencegah kedalaman pelepasan muatan (DOD) yang terlalu dalam. DOD yang direkomendasikan sebaiknya tidak boleh melebihi 50%.

Baterai mensuplai beban paling lama pada beban induktif, selanjutnya adalah beban kapasitif, dan yang paling cepat adalah beban resistif. Baterai berbeda-beda dalam lama pensuplaian beban-beban tersebut karena arus selama pelepasan muatan pada masing-masing beban juga berbeda. Pada beban resistif, arus pelepasan muatan rata-rata sebesar 37,2 A. Pada beban induktif, besar arus selama pelepasan muatan rata-rata adalah 27,9 A. Dan untuk beban kapasitif, arus

pelepasan muatan rata-rata adalah 30,9 A. Semakin besar arus selama pelepasan muatan, semakin cepat keadaan muatan baterai habis sehingga semakin cepat inverter memutuskan suplai dari baterai.

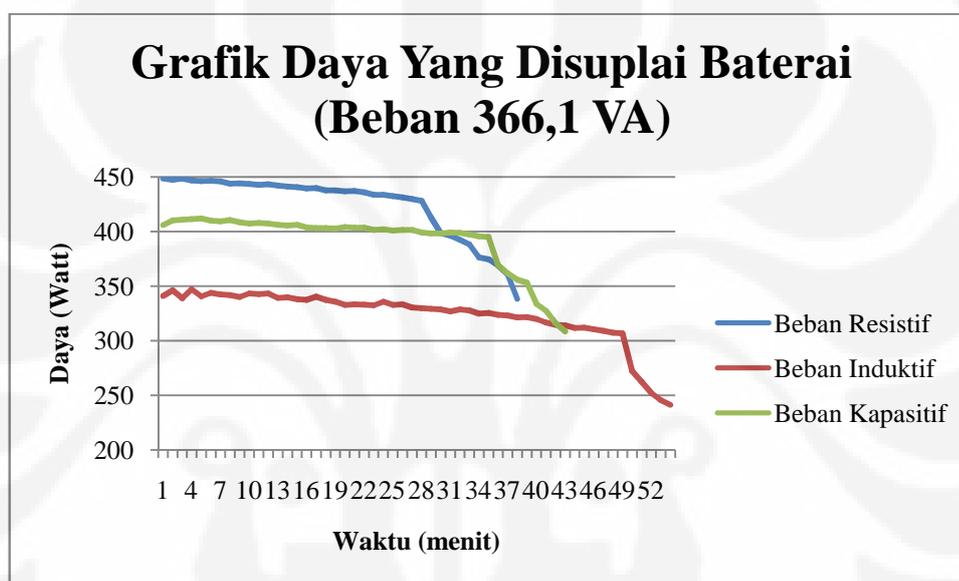
Grafik pada gambar 4.10. menunjukkan tegangan baterai mengalami penurunan grafik yang cukup linier dari awal sampai tegangan mencapai 11 volt. Setelah itu, tegangan dari baterai menurun dengan drastis. Penurunan tegangan baterai untuk ketiga jenis beban tidak berbeda jauh. Gradien penurunan tegangan baterai pada beban resistif adalah $-0,024$, untuk beban induktif adalah $-0,022$, dan untuk beban kapasitif adalah $-0,030$.

Total energi yang disuplai baterai ke beban berbeda-beda pada jenis beban yang berbeda pula. Baterai mensuplai sebanyak 268,8 Wh untuk beban resistif, 290,8 Wh untuk beban induktif, dan 281,1 Wh untuk beban kapasitif. Banyaknya energi yang disuplai baterai berbanding terbalik dengan arus pelepasan muatan baterai. Hal ini terkait dengan kapasitas muatan yang dapat digunakan tergantung pada arus pelepasan muatan baterai. Semakin besar arus pelepasan muatan baterai, semakin kecil kapasitas muatan yang dapat digunakan. Di bawah ini adalah gambar arus pelepasan muatan baterai dan daya yang disuplai baterai dari awal sampai inverter memutuskan suplai dari baterai.



Gambar 4.11. Grafik arus baterai untuk beban 366,1 VA

Grafik arus pelepasan muatan baterai pada gambar 4.11. menunjukkan arus yang keluar dari baterai selama pelepasan muatan. Arus yang keluar dari baterai tersebut terlihat cukup konstan dan ada yang mengalami kenaikan arus yang sangat kecil. Di dalam gambar 4.11. juga memperlihatkan adanya penurunan arus yang keluar dari baterai. Penurunan arus tersebut terjadi saat tegangan baterai ada di sekitar 10,5 volt. Hal ini disebabkan karena saat baterai mencapai tegangan tersebut, inverter menurunkan tegangan keluaran inverter dari 230 volt menjadi sekitar 208 volt sehingga arus yang keluar dari beban juga berkurang.

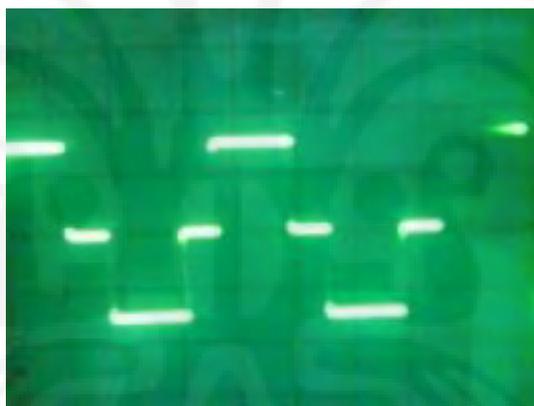


Gambar 4.12. Grafik daya yang disuplai baterai untuk beban 366,1 VA

Gambar 4.12. menunjukkan grafik besar daya yang disuplai baterai untuk masing-masing beban dari awal sampai inverter memutus suplai. Rata-rata daya yang disuplai baterai untuk beban resistif adalah 424,4 watt, untuk beban induktif 323,1 watt, dan untuk beban kapasitif 392,2 watt. Rata-rata daya yang disuplai dari baterai lebih besar dari daya beban karena baterai juga mensuplai daya untuk inverter dan adanya rugi-rugi lain. Daya yang disuplai pada ketiga beban menunjukkan penurunan dari awal sampai inverter memutus suplai. Penurunan daya yang disuplai ini karena tegangan baterai mengalami penurunan seiring dengan pelepasan muatan dan arus yang dikeluarkan hanya mengalami kenaikan yang sedikit bahkan hampir konstan. Daya yang disuplai untuk beban induktif lebih rendah dari kapasitif dan induktif karena arus yang dikeluarkan baterai lebih kecil dari beban resistif dan kapasitif.

Dari pengujian pada ketiga jenis beban dengan besar daya yang berbeda-beda terlihat bahwa baterai paling lama mensuplai beban induktif dan yang paling cepat disuplai adalah beban resistif. Hal ini disebabkan karena arus selama pelepasan muatan terhadap masing-masing beban juga berbeda sehingga hal tersebut mempengaruhi terhadap daya yang keluar dari baterai.

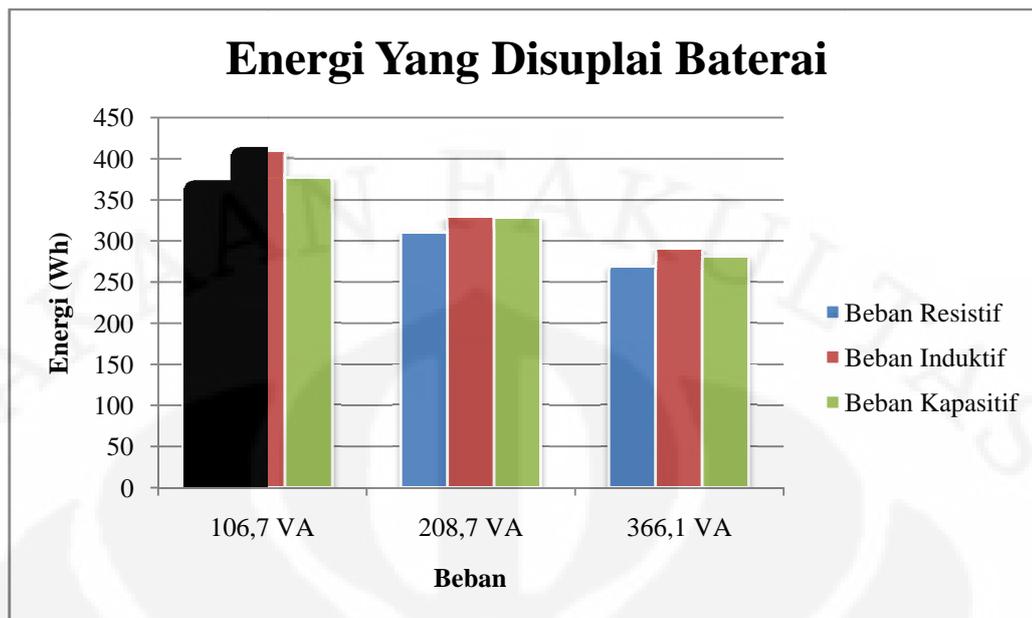
Arus pelepasan muatan pada beban induktif selalu lebih rendah dibandingkan dengan beban resistif dan kapasitif. Hal ini terkait dengan bentuk gelombang keluaran inverter yang tidak sinusoidal melainkan sinusoidal termodifikasi. Bentuk tegangan yang sinusoidal termodifikasi tersebut membuat arus yang dihasilkan pada beban induktif nilai efektifnya lebih rendah dari beban kapasitif. Sedangkan untuk beban resistif bentuk gelombang arus sama dengan bentuk gelombang tegangan. Di bawah ini adalah bentuk gelombang tegangan keluaran dari inverter.



Gambar 4.13. Bentuk gelombang tegangan keluaran inverter

Selain itu, frekuensi tegangan keluaran inverter juga tidak tepat 50 Hz melainkan sekitar 53 Hz. Karena frekuensi yang lebih tinggi tersebut maka besar reaktansi beban induktif lebih tinggi sehingga arus yang melewati impedansi tersebut lebih rendah daripada beban kapasitif.

Total Energi yang disuplai baterai dari awal sampai inverter memutus beban juga jumlahnya berbeda-beda. Banyaknya energi yang disuplai baterai pada masing-masing beban dengan daya yang berbeda-beda dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



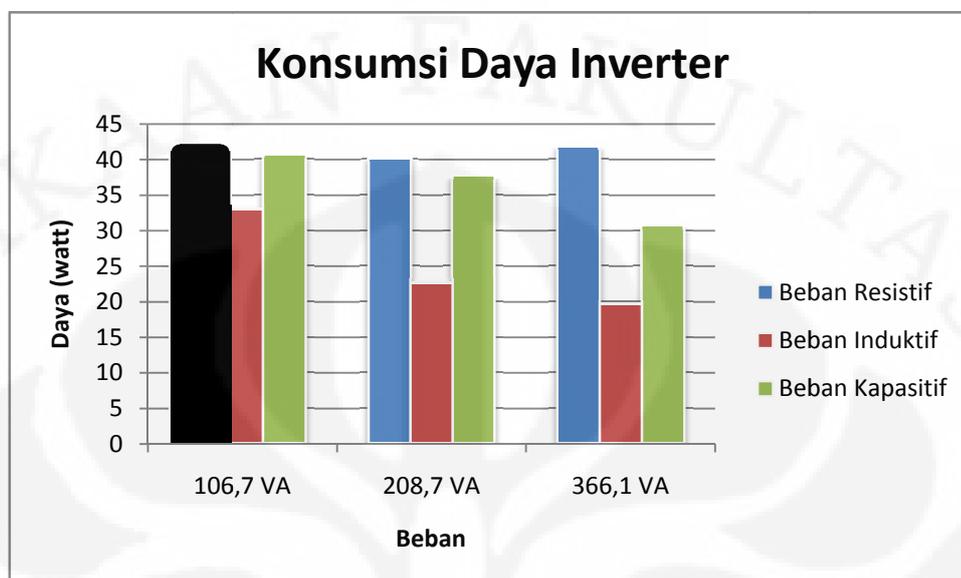
Gambar 4.14. Jumlah energi yang disuplai baterai

Gambar 4.13. menunjukkan energi yang disuplai untuk beban induktif dengan besar daya yang sama lebih besar dari beban kapasitif dan resistif. Keadaan awal muatan baterai dibuat sama karena pengujian dilakukan sama-sama dari tegangan baterai 13,2 volt. Energi yang disuplai pada beban induktif lebih banyak dengan daya yang sama karena baterai lebih lama mensuplai beban induktif. Baterai dapat mensuplai lebih lama karena arus selama pelepasan muatan juag lebih rendah. Selain itu, besarnya arus selama pelepasan muatan ini berpengaruh pada kapasitan muatan yang dapat digunakan. Semakin besar arus selama pelepasan muatan, semakin sedikit kapasitas muatan yang dapat digunakan.

4.3. Efisiensi Inverter

Dari analisa yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya terlihat bahwa baterai mensuplai daya yang lebih besar dari besar beban itu sendiri. Hal ini disebabkan karena adanya konsumsi daya untuk inverter dan rugi-rugi lain. Konsumsi daya inverter memegang peranan yang cukup penting karena daya yang dikonsumsi inverter cukup besar. Konsumsi daya inverter dihitung dengan mengitung daya yang masuk ke inverter kemudian dibandingkan dengan daya

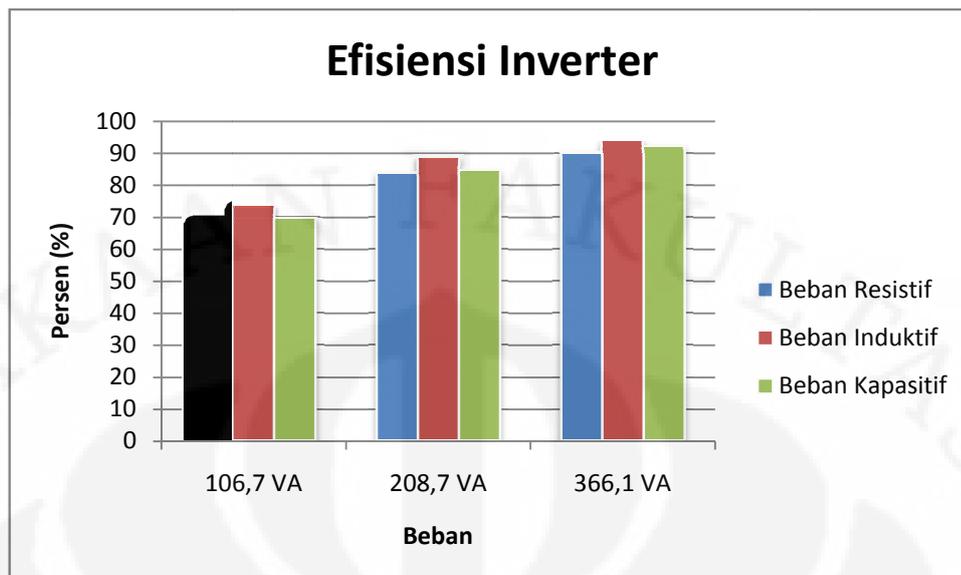
yang keluar dari inverter. Gambar 4.14. di bawah ini menunjukkan besar konsumsi daya inverter pada masing-masing pengujian.



Gambar 4.15. Konsumsi daya inverter

Dari gambar di atas konsumsi daya inverter rata-rata sebesar 37 watt. Untuk beban resistif konsumsi daya terlihat hampir sama, yaitu sekitar 40 watt. Untuk beban induktif, konsumsi daya inverter paling besar pada beban 106,7 VA, yaitu sekitar 37 watt, sedangkan paling rendah pada beban sebesar 366,1 VA, yaitu sekitar 20 watt. Untuk beban kapasitif, konsumsi daya inverter menurun dari beban 106,7 watt sekitar 40 watt, beban 208,7 watt sekitar 38 watt, dan beban 366,1 watt sekitar 30 watt.

Dengan mengetahui besar daya yang dikonsumsi inverter, efisiensi inverter dapat diketahui juga dengan membandingkan daya yang keluar dari inverter dengan daya yang masuk inverter. gambar 4.15. di bawah ini menunjukkan efisiensi inverter.



Gambar 4.16. Efisiensi inverter

Dari gambar di atas, efisiensi inverter untuk beban 106,7 VA sekitar 68%, untuk beban 208,7 VA sekitar 82%, dan untuk beban 366,1% sekitar 90%. Efisiensi inverter makin tinggi jika digunakan untuk daya beban yang lebih mendekati *rating* inverter. Efisiensi inverter paling optimum jika digunakan untuk mensuplai beban yang dayanya mendekati daya *rating* dari inverter tersebut.

4.4. Studi Kasus Dengan Beban AC

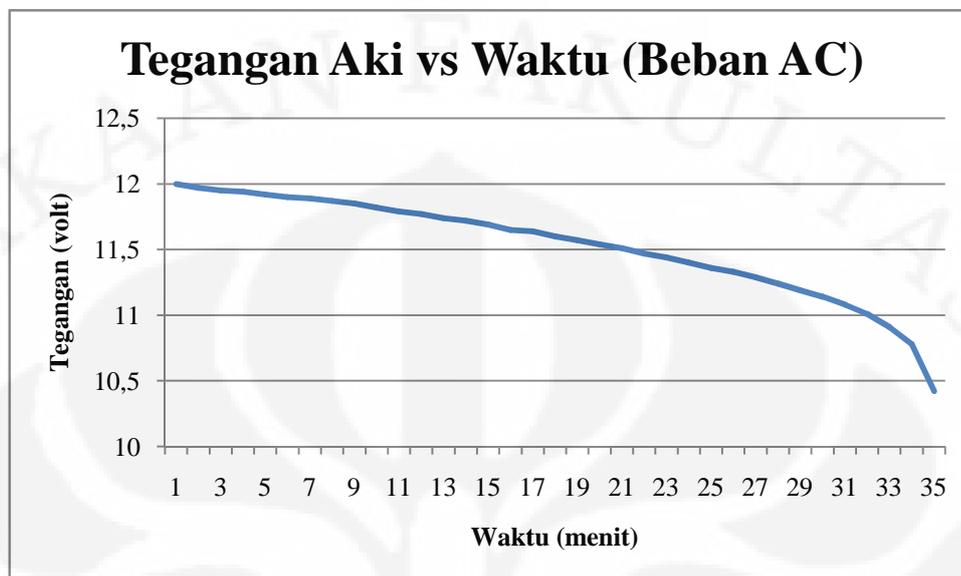
Studi banding di sini merupakan pengujian karakteristik kapasitas aki dengan beban umum yang ada di rumah tangga. Contoh beban yang digunakan pada pengujian ini adalah beban AC. Spesifikasi AC yang digunakan untuk pengujian ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.4. Spesifikasi AC

Daya Masukan	320 watt
Fasa	1 ϕ
Tegangan	220 – 240 volt
Arus	1,9 Ampere

Dengan beban AC yang 320 watt ini, inverter ternyata tidak mampu mengangkat beban. Oleh karena itu, inverter yang digunakan pada pengujian ini berbeda dengan pengujian yang sebelumnya. Inverter yang digunakan dalam

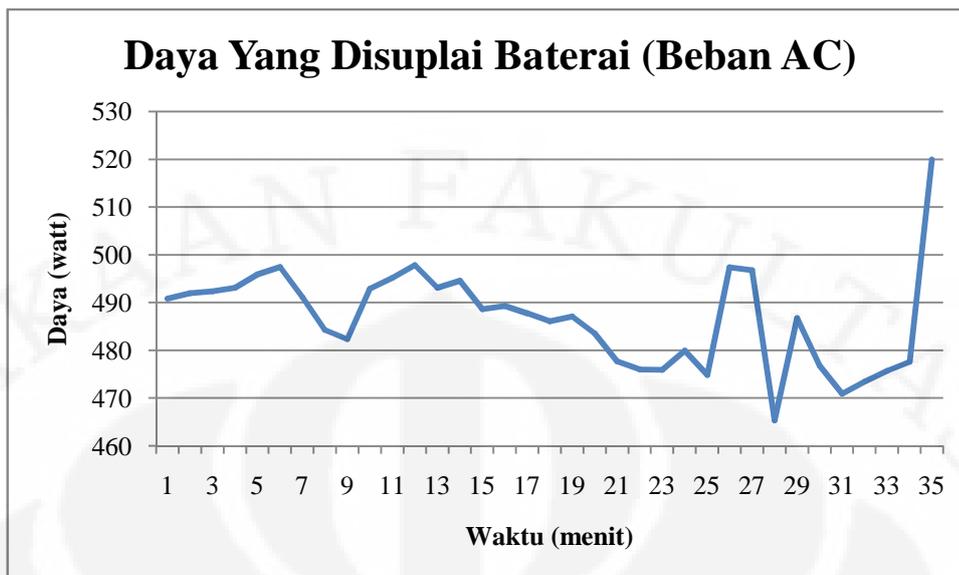
pengujian AC ini memiliki kapasitas 1000 watt. Karakteristik tegangan baterai selama pelepasan muatan beban AC dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.17. Grafik tegangan aki selama pelepasan muatan beban AC

Baterai mensuplai beban AC selama 35 menit. Secara perhitungan dengan beban 320 watt dan kapasitas baterai sebanyak 720 Wh, waktu baterai mensuplai beban AC seharusnya selama 135 menit. Waktu yang diperoleh pada pengujian ternyata jauh berbeda dengan perhitungan. Hal ini dikarenakan adanya batas maksimum kedalaman pelepasan muatan (DOD) yaitu sebanyak 50% seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Berbedanya lama baterai mensuplai beban juga terkait dengan arus selama pelepasan muatan. Arus yang keluar dari baterai selama pelepasan muatan rata-rata 42,3 A. Arus yang dikeluarkan baterai ini lebih besar dari beban-beban sebelumnya. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, semakin besar arus selama pelepasan muatan semakin sedikit kapasitas muatan yang dapat dipakai sehingga baterai lebih cepat memutus suplai. Hal ini terlihat juga dari total energi yang disuplai baterai dari awal sampai inverter memutus suplai. Total energi dari baterai sebesar 268,8 Wh.

Dari gambar 4.16. menunjukkan tegangan baterai mengalami penurunan dari awal sampai inverter memutus beban. Penurunan cukup linier terjadi dari tegangan 12 volt pada menit pertama sampai tegangan 10,78 volt di menit ke-34. Setelah menit ke-34, tegangan baterai mengalami penurunan yang cukup curam. Gradien penurunan tegangan yang cukup linier adalah sebesar -0,036.



Gambar 4.18. Grafik daya yang disuplai baterai untuk beban AC

Gambar 4.17 memperlihatkan daya yang disuplai baterai selama pelepasan muatan untuk mensuplai beban AC. Daya rata-rata yang disuplai baterai adalah 486,9 watt. Daya yang disuplai baterai lebih besar dari besar daya beban karena baterai juga mensuplai inverter dan ada rugi-rugi lain. Adanya daya yang disuplai baterai dan rugi-rugi lain ini mempengaruhi efisiensi inverter. besar daya yang dikonsumsi inverter rata-rata sebesar 48,3 watt. Efisiensi dari sistem dengan beban AC ini adalah 90%.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Tegangan baterai selama pelapasan muatan akan mengalami penurunan tegangan yang cukup linier sampai sekitar 11 volt, selanjutnya tegangan baterai mengalami penurunan yang sangat curam.
2. Lama waktu baterai mensuplai masing-masing beban dan total energi yang disuplai baterai dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Jenis Beban	Daya	Lama Waktu Baterai Mensuplai Beban (menit)	Total Energi (Wh)
Resistif	106,7 VA	163	368,5
	208,7 VA	75	310
	366,1 VA	38	268,8
Induktif	106,7 VA	195	409,4
	208,7 VA	91	328,8
	366,1 VA	54	290,8
Kapasitif	106,7 VA	169	377,2
	208,7 VA	80	328,3
	366,1 VA	43	281,1

3. Beban induktif disuplai dengan arus yang paling kecil dengan daya sama dibandingkan beban kapasitif dan beban resistif.
4. Semakin besar daya beban semakin sedikit total energi yang disuplai baterai.
5. Efisiensi inverter rata-rata untuk beban 106,7 VA adalah 68%
6. Efisiensi inverter rata-rata untuk beban 208,7 VA adalah 78%
7. Efisiensi inverter rata-rata untuk beban 366,1 VA adalah 90%
8. Semakin besar daya beban semakin besar efisiensi inverter.
9. Kedalaman pelepasan muatan untuk masing-masing beban dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Jenis Beban	Daya	Total Energi	% DOD
Resistif	106,7 VA	368,5	51,18
	208,7 VA	310	43,06
	366,1 VA	268,8	37,33
Induktif	106,7 VA	409,4	56,86
	208,7 VA	328,8	45,67
	366,1 VA	290,8	40,39
Kapasitif	106,7 VA	377,2	52,39
	208,7 VA	328,3	45,60
	366,1 VA	281,1	39,04

10. Untuk beban AC, baterai mensuplai AC selama 35 menit dengan total energi sebanyak 284 Wh.

DAFTAR ACUAN

- [1] Kiehne, H.A., Battery Technology Handbook 2nd Edition (New York: Marcell Decker, Inc, 2003), hal. 40 – 48
- [2] Quaschnig, Volker, Understanding Renewable Energy System (London: Earthscan, 2005), hal 157 – 164



DAFTAR PUSTAKA

Kiehne, H.A., (2003). *Battery Technology Handbook* (2nd Edition). New York: Marcell Decker, Inc.

Ter-Gazarian, A., (1994). *Energy Storage For Power System*. London: Peter Peregrinus Ltd.

DOE Handbook Premier On Lead-Acid Storage Battery. (1995). Washington DC: U.S. Departement of Energy.

Crompton, T.R., (2000). *Battery Reference Book* (3rd Edition). Oxford: Newnes.

Dhameja, Sandeep, (2002). *Electric Vehicle Battery Systems*. Boston: Newnes.

Quaschnig, Volker, (2005). *Understanding Renewable Energy System*. London: Earthscan

Worden, James, & Zuercher-Martinson, Michael, (2009). *How Inverters Work*. Sofia: Solarpro.

Hahn, James H., (2006). *Modified Sine-Wave Inverter Enhanced*.
www.powerelectronic.com

www.batteryuniversity.com

www.mpoweruk.com

LAMPIRAN

1. Data percobaan pengujian beban resistif 106,7 VA

Waktu	Baterai		Keluaran Inverter	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	13,16	0,8	233,1	0
1	12,34	11,4	234,1	0,4
2	12,36	11,5	234,5	0,4
3	12,38	11,5	234,7	0,4
4	12,39	11,4	234,9	0,4
5	12,39	11,4	235,1	0,4
6	12,38	11,4	235,3	0,4
7	12,38	11,4	235,3	0,4
8	12,37	11,5	235,4	0,4
9	12,37	11,4	235,4	0,4
10	12,36	11,4	235,5	0,4
11	12,35	11,5	235,5	0,4
12	12,34	11,4	235,6	0,4
13	12,33	11,4	235,7	0,4
14	12,33	11,5	235,7	0,4
15	12,32	11,5	235,8	0,4
16	12,31	11,4	235,8	0,4
17	12,31	11,5	235,9	0,4
18	12,3	11,4	235,9	0,4
19	12,29	11,4	235,9	0,4
20	12,29	11,4	236	0,4
21	12,28	11,4	236	0,4
22	12,27	11,5	235,9	0,4
23	12,27	11,4	236	0,4
24	12,26	11,4	236,1	0,4
25	12,25	11,5	236,2	0,4
26	12,25	11,4	236,1	0,4
27	12,24	11,5	236,2	0,4
28	12,23	11,4	236,2	0,4
29	12,23	11,5	236,3	0,4
30	12,22	11,4	236,3	0,4
31	12,22	11,5	236,3	0,4
32	12,21	11,5	236,4	0,4
33	12,2	11,5	236,4	0,4
34	12,19	11,5	236,4	0,4
35	12,19	11,5	236,4	0,4
36	12,18	11,5	236,5	0,4
37	12,17	11,5	236,5	0,4
38	12,17	11,6	236,6	0,4
39	12,16	11,5	236,6	0,4
40	12,16	11,4	236,6	0,4
41	12,15	11,5	236,6	0,4
42	12,15	11,5	236,7	0,4
43	12,14	11,5	236,8	0,4
44	12,14	11,5	236,8	0,4
45	12,13	11,4	236,7	0,4
46	12,13	11,6	236,7	0,4
47	12,12	11,5	236,8	0,4
48	12,12	11,5	236,8	0,4
49	12,11	11,5	236,9	0,4

50	12,11	11,5	236,9	0,4
51	12,1	11,6	236,8	0,4
52	12,1	11,5	236,9	0,4
53	12,09	11,5	236,9	0,4
54	12,09	11,5	237	0,4
55	12,09	11,5	237,1	0,4
56	12,08	11,5	237	0,4
57	12,07	11,6	237	0,4
58	12,07	11,5	237	0,4
59	12,07	11,5	237	0,4
60	12,06	11,5	237,2	0,4
61	12,06	11,5	237,1	0,4
62	12,05	11,5	237,1	0,4
63	12,05	11,5	237,1	0,4
64	12,04	11,6	237,2	0,4
65	12,04	11,4	237,2	0,4
66	12,04	11,5	237,2	0,4
67	12,03	11,5	237,2	0,4
68	12,03	11,5	237,2	0,4
69	12,02	11,6	237,2	0,4
70	12,02	11,4	237,2	0,4
71	12,01	11,5	237,3	0,4
72	12,01	11,5	237,3	0,4
73	12	11,6	237,3	0,4
74	12	11,5	237,3	0,4
75	11,99	11,5	237,4	0,4
76	11,99	11,5	237,4	0,4
77	11,99	11,6	237,5	0,4
78	11,98	11,4	237,4	0,4
79	11,97	11,5	237,6	0,4
80	11,97	11,5	237,5	0,4
81	11,96	11,6	237,5	0,4
82	11,96	11,4	237,5	0,4
83	11,95	11,5	237,6	0,4
84	11,95	11,5	237,6	0,4
85	11,95	11,5	237,6	0,4
86	11,94	11,5	237,7	0,4
87	11,93	11,5	237,6	0,4
88	11,93	11,6	237,7	0,4
89	11,93	11,5	237,7	0,4
90	11,92	11,5	237,9	0,4
91	11,91	11,5	237,9	0,4
92	11,91	11,5	238	0,4
93	11,9	11,5	238	0,4
94	11,9	11,4	238	0,4
95	11,89	11,6	238,1	0,4
96	11,89	11,5	238,2	0,4
97	11,88	11,6	238,2	0,4
98	11,88	11,6	238,2	0,4
99	11,87	11,5	238,3	0,4
100	11,86	11,5	238,4	0,4
101	11,86	11,6	238,4	0,4
102	11,85	11,5	238,4	0,4
103	11,85	11,5	238,5	0,4
104	11,84	11,6	238,5	0,4
105	11,84	11,6	238,6	0,4
106	11,83	11,5	238,6	0,4
107	11,83	11,5	238,7	0,4
108	11,82	11,5	238,7	0,4
109	11,81	11,5	238,8	0,4

110	11,8	11,5	238,9	0,4
111	11,79	11,6	238,9	0,4
112	11,79	11,6	239	0,4
113	11,78	11,6	239,1	0,4
114	11,78	11,5	239,3	0,4
115	11,77	11,5	239,4	0,4
116	11,76	11,5	239,4	0,4
117	11,75	11,5	239,6	0,4
118	11,75	11,5	239,6	0,4
119	11,74	11,5	239,7	0,4
120	11,73	11,5	239,9	0,4
121	11,72	11,5	239,9	0,4
122	11,71	11,5	240,1	0,4
123	11,7	11,4	240,1	0,4
124	11,69	11,5	240,3	0,4
125	11,68	11,5	240,4	0,4
126	11,68	11,5	240,5	0,4
127	11,67	11,5	240,7	0,4
128	11,66	11,5	240,8	0,4
129	11,65	11,5	240,9	0,4
130	11,63	11,5	241,2	0,4
131	11,62	11,5	241,2	0,4
132	11,61	11,6	241,4	0,4
133	11,6	11,6	241,6	0,4
134	11,59	11,5	241,7	0,4
135	11,57	11,6	241,8	0,4
136	11,56	11,6	242	0,4
137	11,54	11,6	242,1	0,4
138	11,53	11,6	242,3	0,4
139	11,51	11,6	242,5	0,4
140	11,49	11,6	242,6	0,4
141	11,47	11,6	242,8	0,4
142	11,45	11,5	243	0,4
143	11,43	11,5	243,1	0,4
144	11,4	11,6	243,3	0,4
145	11,37	11,6	243,6	0,4
146	11,34	11,5	243,6	0,4
147	11,3	11,6	243,8	0,4
148	11,24	11,6	244	0,4
149	11,15	11,6	244,1	0,4
150	11,02	11,6	244,5	0,4
151	10,87	11,6	244,5	0,4
152	10,74	11,6	244,6	0,4
153	10,64	11,6	244,8	0,4
154	10,55	11,7	244,9	0,4
155	10,46	11,7	244,9	0,4
156	10,41	11,3	233,3	0,3
157	10,38	10,8	227,8	0,3
158	10,35	10,4	216,2	0,3
159	10,27	10,4	216,5	0,3
160	10,16	10,4	216,6	0,3
161	10,04	10,4	217	0,3
162	9,9	10,4	217,4	0,3
163	9,71	10,3	218	0,3

2. Data percobaan pengujian beban resistif 208,7 VA

Waktu	Baterai		Keluaran Inverter	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	13,16	0,7	233,9	0
1	12,3	21,3	233,8	0,9
2	12,3	21,2	234,2	0,9
3	12,29	21,3	234,6	0,9
4	12,28	21,3	234,7	0,9
5	12,26	21,5	235	0,9
6	12,25	21,2	235	0,9
7	12,23	21,4	235,2	0,9
8	12,21	21,3	235,3	0,9
9	12,19	21,4	235,4	0,9
10	12,18	21,3	235,5	0,9
11	12,16	21,3	235,5	0,9
12	12,15	21,3	235,6	0,9
13	12,13	21,3	235,6	0,9
14	12,11	21,3	235,7	0,9
15	12,1	21,3	235,9	0,9
16	12,09	21,3	233,7	0,9
17	12,07	21,5	235,9	0,9
18	12,05	21,3	235,8	0,9
19	12,03	21,5	235,9	0,9
20	12,02	21,4	236,1	0,9
21	12	21,5	235,9	0,9
22	11,99	21,4	236,2	0,9
23	11,98	21,4	236	0,9
24	11,96	21,4	236,2	0,9
25	11,95	21,5	236	0,9
26	11,93	21,5	236,2	0,9
27	11,92	21,4	236	0,9
28	11,91	21,4	236,3	0,9
29	11,89	21,3	236,1	0,9
30	11,88	21,6	236,3	0,9
31	11,87	21,4	236,2	0,9
32	11,86	21,5	236,3	0,9
33	11,84	21,4	236,3	0,9
34	11,83	21,4	236,3	0,9
35	11,82	21,5	236,3	0,9
36	11,81	21,5	236,3	0,9
37	11,79	21,5	236,4	0,9
38	11,78	21,5	236,3	0,9
39	11,76	21,5	236,4	0,9
40	11,75	21,5	236,4	0,9
41	11,74	21,6	236,4	0,9
42	11,72	21,6	236,4	0,9
43	11,71	21,6	236,4	0,9
44	11,7	21,4	236,5	0,9
45	11,68	21,6	236,4	0,9
46	11,66	21,6	236,5	0,9
47	11,65	21,5	236,4	0,9
48	11,63	21,6	236,5	0,9
49	11,62	21,5	236,5	0,9
50	11,6	21,5	236,4	0,9
51	11,58	21,5	236,5	0,9
52	11,56	21,6	236,6	0,9
53	11,54	21,6	236,5	0,9
54	11,52	21,5	236,5	0,9
55	11,5	21,6	236,6	0,9

56	11,48	21,5	236,6	0,9
57	11,45	21,6	236,6	0,9
58	11,43	21,5	236,7	0,9
59	11,4	21,5	236,6	0,9
60	11,37	21,5	236,6	0,9
61	11,34	21,5	236,6	0,9
62	11,31	21,6	236,7	0,9
63	11,27	21,6	236,7	0,9
64	11,23	21,6	236,7	0,9
65	11,18	21,6	236,7	0,9

66	11,12	21,6	236,6	0,9
67	11,04	21,6	236,7	0,9
68	10,87	21,7	236,7	0,9
69	10,68	19,9	219,6	0,8
70	10,52	19,3	208,6	0,8
71	10,39	19,4	208,7	0,7
72	10,27	19,3	208,8	0,7
73	10,14	19,3	208,9	0,8
74	9,99	19,3	209,5	0,8
75	9,8	19,3	210,1	0,8

3. Data percobaan pengujian beban resistif 366,1 VA

Waktu	Baterai		Keluaran Inverter	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	13,17	0,9	233,7	0
1	11,86	37,8	233,3	1,7
2	11,83	37,8	233,9	1,7
3	11,83	37,9	234,2	1,7
4	11,82	37,8	234,3	1,7
5	11,8	37,8	234,8	1,7
6	11,78	37,9	235	1,7
7	11,76	37,9	235,2	1,7
8	11,74	37,8	235	1,7
9	11,72	37,9	235,2	1,7
10	11,7	37,9	235,4	1,7
11	11,68	37,9	235,5	1,7
12	11,66	38	235,5	1,7
13	11,63	38	235,6	1,7
14	11,61	38	235,7	1,7

15	11,59	38	235,8	1,7
16	11,56	38	236	1,7
17	11,54	38,1	235,9	1,7
18	11,52	38	235,9	1,7
19	11,49	38,1	236	1,7
20	11,46	38,1	236,4	1,7
21	11,44	38,2	236,4	1,7
22	11,41	38,2	236,4	1,7
23	11,38	38,1	236,2	1,7
24	11,35	38,2	236,3	1,7
25	11,32	38,2	236,3	1,7
26	11,29	38,2	236,3	1,7
27	11,25	38,2	236,3	1,7
28	11,2	38,2	236,3	1,7
29	11,19	36,9	226,5	1,6
30	11,16	35,7	219,6	1,6
31	11,13	35,6	219,4	1,6

32	11,08	35,4	219,6	1,6
33	11,03	35,2	213,6	1,6
34	11	34,2	208,7	1,5
35	10,92	34,3	208,7	1,5

36	10,81	34,1	208,9	1,5
37	10,55	34,2	209,6	1,5
38	9,92	34,1	210,3	1,5

4. Data percobaan pengujian beban induktif 106,7 VA

Waktu	Baterai		Keluaran Inverter	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	13,16	1	229,4	0
1	12,39	10,6	233	0,4
2	12,37	10,6	233,3	0,4
3	12,39	10,6	233,6	0,4
4	12,4	10,6	233,8	0,4
5	12,39	10,6	234	0,4
6	12,39	10,7	234,2	0,4
7	12,38	10,6	234,2	0,4
8	12,38	10,7	234,3	0,4
9	12,37	10,7	234,4	0,4
10	12,37	10,7	234,4	0,4
11	12,36	10,7	234,4	0,4
12	12,35	10,7	234,5	0,4
13	12,35	10,7	234,7	0,4
14	12,34	10,7	234,7	0,4
15	12,33	10,7	234,7	0,4
16	12,33	10,7	234,6	0,4
17	12,32	10,7	234,9	0,4
18	12,32	10,7	234,9	0,4
19	12,31	10,7	234,9	0,4
20	12,3	10,7	234,9	0,4

21	12,3	10,7	234,9	0,4
22	12,29	10,7	235	0,4
23	12,29	10,7	235,1	0,4
24	12,28	10,7	235,2	0,4
25	12,28	10,7	235,1	0,4
26	12,27	10,7	235	0,4
27	12,27	10,7	235	0,4
28	12,26	10,7	235,2	0,4
29	12,26	10,7	235,2	0,4
30	12,25	10,7	235,3	0,4
31	12,25	10,7	235,2	0,4
32	12,24	10,7	235,3	0,4
33	12,24	10,7	235,2	0,4
34	12,24	10,7	235,3	0,4
35	12,23	10,7	235,3	0,4
36	12,23	10,7	235,3	0,4
37	12,23	10,7	235,4	0,4
38	12,22	10,7	235,4	0,4
39	12,22	10,7	235,4	0,4
40	12,21	10,7	235,4	0,4
41	12,21	10,7	235,4	0,4
42	12,21	10,7	235,4	0,4
43	12,2	10,7	235,5	0,4

44	12,2	10,7	235,5	0,4
45	12,2	10,7	235,5	0,4
46	12,19	10,7	235,5	0,4
47	12,19	10,7	235,5	0,4
48	12,19	10,6	235,5	0,4
49	12,19	10,7	235,5	0,4
50	12,18	10,6	235,7	0,4
51	12,18	10,7	235,6	0,4
52	12,17	10,7	235,7	0,4
53	12,17	10,7	235,7	0,4
54	12,17	10,7	235,6	0,4
55	12,16	10,7	235,6	0,4
56	12,16	10,7	235,7	0,4
57	12,16	10,7	235,7	0,4
58	12,15	10,7	235,7	0,4
59	12,15	10,7	235,7	0,4
60	12,15	10,7	235,8	0,4
61	12,14	10,7	235,8	0,4
62	12,14	10,7	235,8	0,4
63	12,13	10,7	235,7	0,4
64	12,13	10,7	235,8	0,4
65	12,13	10,7	235,9	0,4
66	12,12	10,7	235,8	0,4
67	12,12	10,7	235,8	0,4
68	12,12	10,7	235,9	0,4
69	12,11	10,7	235,9	0,4
70	12,11	10,7	235,9	0,4
71	12,1	10,7	235,8	0,4
72	12,1	10,7	235,9	0,4
73	12,1	10,7	235,9	0,4

74	12,09	10,7	235,9	0,4
75	12,09	10,7	235,9	0,4
76	12,09	10,7	235,9	0,4
77	12,08	10,7	236	0,4
78	12,08	10,7	236	0,4
79	12,07	10,7	236	0,4
80	12,07	10,7	236	0,4
81	12,07	10,7	236	0,4
82	12,06	10,7	236,1	0,4
83	12,06	10,7	236	0,4
84	12,06	10,7	236,1	0,4
85	12,05	10,7	236	0,4
86	12,05	10,7	236,1	0,4
87	12,05	10,7	236,1	0,4
88	12,04	10,7	236,1	0,4
89	12,04	10,7	236	0,4
90	12,03	10,7	236,2	0,4
91	12,03	10,7	236,2	0,4
92	12,02	10,7	236,1	0,4
93	12,02	10,7	236,1	0,4
94	12,02	10,7	236,2	0,4
95	12,01	10,7	236,2	0,4
96	12,01	10,7	236,2	0,4
97	12	10,7	236,2	0,4
98	12	10,7	236,2	0,4
99	12	10,7	236,3	0,4
100	11,99	10,7	236,3	0,4
101	11,99	10,7	236,2	0,4
102	11,98	10,7	236,2	0,4
103	11,98	10,7	236,3	0,4

104	11,97	10,7	236,4	0,4
105	11,97	10,7	236,3	0,4
106	11,96	10,7	236,3	0,4
107	11,96	10,7	236,3	0,4
108	11,96	10,7	236,4	0,4
109	11,95	10,7	236,3	0,4
110	11,95	10,7	236,3	0,4
111	11,94	10,7	236,4	0,4
112	11,94	10,7	236,4	0,4
113	11,93	10,7	236,4	0,4
114	11,93	10,7	236,3	0,4
115	11,92	10,7	236,4	0,4
116	11,92	10,7	236,4	0,4
117	11,91	10,7	236,5	0,4
118	11,91	10,7	236,5	0,4
119	11,9	10,7	236,5	0,4
120	11,9	10,7	236,4	0,4
121	11,89	10,7	236,5	0,4
122	11,89	10,7	236,5	0,4
123	11,88	10,7	236,5	0,4
124	11,88	10,7	236,5	0,4
125	11,87	10,7	236,6	0,4
126	11,87	10,7	236,6	0,4
127	11,86	10,7	236,6	0,4
128	11,85	10,7	236,7	0,4
129	11,85	10,7	236,7	0,4
130	11,84	10,7	236,5	0,4
131	11,84	10,7	236,6	0,4
132	11,83	10,7	236,7	0,4
133	11,82	10,7	236,7	0,4

134	11,82	10,7	236,7	0,4
135	11,81	10,7	236,7	0,4
136	11,8	10,7	236,7	0,4
137	11,8	10,7	236,7	0,4
138	11,79	10,7	236,7	0,4
139	11,78	10,7	236,7	0,4
140	11,78	10,7	236,8	0,4
141	11,77	10,7	236,8	0,4
142	11,76	10,7	236,8	0,4
143	11,75	10,7	236,9	0,4
144	11,75	10,7	236,8	0,4
145	11,74	10,7	236,9	0,4
146	11,73	10,7	236,8	0,4
147	11,72	10,7	236,8	0,4
148	11,71	10,7	236,9	0,4
149	11,7	10,7	236,9	0,4
150	11,69	10,7	236,9	0,4
151	11,68	10,7	237	0,4
152	11,68	10,7	236,9	0,4
153	11,67	10,7	237	0,4
154	11,65	10,7	237,1	0,4
155	11,64	10,7	237,1	0,4
156	11,63	10,7	237	0,4
157	11,62	10,7	237,2	0,4
158	11,61	10,7	237,1	0,4
159	11,6	10,7	237,1	0,4
160	11,59	10,7	237,1	0,4
161	11,57	10,7	237,2	0,4
162	11,56	10,7	237,2	0,4
163	11,55	10,7	237,3	0,4

164	11,53	10,7	237,2	0,4
165	11,52	10,7	237,2	0,4
166	11,5	10,7	237,3	0,4
167	11,48	10,7	237,4	0,4
168	11,46	10,7	237,4	0,4
169	11,45	10,7	237,4	0,4
170	11,42	10,7	237,5	0,4
171	11,4	10,7	237,5	0,4
172	11,37	10,7	237,6	0,4
173	11,34	10,7	237,6	0,4
174	11,3	10,7	237,6	0,4
175	11,25	10,7	237,7	0,4
176	11,19	10,7	237,8	0,4
177	11,1	10,7	238	0,4
178	11,01	10,7	238,2	0,4
179	10,91	10,6	238,4	0,4

180	10,81	10,6	238,5	0,4
181	10,73	10,5	238,6	0,4
182	10,66	10,5	238,8	0,4
183	10,58	10,5	238,9	0,4
184	10,52	10,5	239	0,4
185	10,44	10,5	239	0,4
186	10,38	10,2	230,4	0,3
187	10,37	9,8	220,9	0,3
188	10,34	9,5	214,4	0,3
189	10,31	9,4	212	0,3
190	10,23	9,4	212,1	0,3
191	10,14	9,4	212	0,3
192	10,05	9,4	212	0,3
193	9,94	9,4	212	0,3
194	9,83	9,4	212	0,3
195	9,73	9,4	212	0,3

5. Data percobaan pengujian beban induktif 208,7 VA

Waktu	Baterai		Keluaran Inverter	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	13,07	0,9	229,5	0
1	12,17	18,9	233,4	0,7
2	12,23	19	233,9	0,7
3	12,24	18,9	234,2	0,7
4	12,24	18,7	234,5	0,7
5	12,23	18,8	234,5	0,7
6	12,22	18,9	234,7	0,7
7	12,21	18,9	234,8	0,7
8	12,2	18,9	234,9	0,7

9	12,19	18,8	235	0,7
10	12,17	18,8	235	0,7
11	12,16	18,7	235,2	0,7
12	12,15	18,8	235,2	0,7
13	12,14	18,8	235,3	0,7
14	12,13	18,7	235,3	0,7
15	12,12	18,8	235,4	0,7
16	12,1	18,9	235,4	0,7
17	12,09	18,9	235,7	0,7
18	12,08	18,9	235,6	0,7
19	12,07	18,8	235,5	0,7

20	12,05	18,9	235,9	0,7
21	12,04	18,8	235,5	0,7
22	12,03	18,7	236	0,7
23	12,02	18,9	236	0,7
24	12,01	18,8	236	0,7
25	12	18,8	235,9	0,8
26	11,99	18,8	235,9	0,7
27	11,98	18,8	236,1	0,7
28	11,97	18,8	236,1	0,7
29	11,96	18,8	236	0,7
30	11,95	18,8	236,2	0,7
31	11,94	18,8	236,1	0,8
32	11,93	18,8	236,1	0,8
33	11,92	18,9	236,2	0,7
34	11,91	18,8	236,3	0,7
35	11,9	18,9	236,3	0,7
36	11,89	18,8	236,3	0,7
37	11,88	18,9	236,3	0,7
38	11,88	18,8	236,4	0,7
39	11,87	18,8	236,6	0,7
40	11,86	18,8	236,5	0,7
41	11,85	18,8	236,3	0,7
42	11,84	18,9	236,7	0,7
43	11,83	18,8	236,5	0,7
44	11,82	18,8	236,6	0,8
45	11,81	18,8	236,6	0,8
46	11,8	18,8	236,5	0,7
47	11,79	18,8	236,8	0,7
48	11,78	18,8	236,7	0,8
49	11,77	18,9	236,6	0,7
50	11,76	18,8	236,8	0,7
51	11,75	18,8	236,7	0,7
52	11,74	18,8	236,9	0,7
53	11,72	18,8	236,7	0,7
54	11,71	18,8	236,8	0,7
55	11,7	18,8	236,9	0,7
56	11,69	18,8	236,7	0,7
57	11,67	18,8	236,9	0,7
58	11,66	18,8	236,8	0,7
59	11,64	18,8	237	0,7
60	11,63	18,8	237	0,7
61	11,62	18,8	237	0,7
62	11,6	18,8	237,2	0,7
63	11,58	18,8	237	0,7
64	11,57	18,8	237,2	0,7
65	11,55	18,8	237,2	0,7
66	11,53	18,8	237,2	0,7
67	11,51	18,8	237,2	0,7
68	11,49	18,7	237,4	0,7
69	11,47	18,8	237,4	0,7
70	11,45	18,7	237,4	0,7
71	11,43	18,8	237,4	0,7
72	11,4	18,7	237,3	0,7
73	11,38	18,7	237,3	0,7
74	11,35	18,7	237,7	0,7
75	11,33	18,7	237,5	0,7
76	11,29	18,7	237,8	0,7
77	11,25	18,7	237,8	0,7
78	11,22	18,7	237,9	0,7
79	11,16	18,6	237,9	0,7

80	11,09	18,6	238,2	0,7
81	11,02	18,6	238,2	0,7
82	10,85	18,4	238,3	0,7
83	10,66	18,2	238,8	0,7
84	10,6	17,2	220,6	0,6
85	10,55	16,5	211,7	0,7

86	10,47	16,4	211,7	0,7
87	10,39	16,4	211,8	0,6
88	10,27	16,4	211,6	0,7
89	10,13	16,4	211,7	0,7
90	9,94	16,4	211,8	0,6
91	9,71	16,4	211,9	0,6

6. Data percobaan pengujian beban induktif 366,1 VA

Waktu	Baterai		Keluaran Inverter	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	13,15	1	229,5	0
1	12,05	28,3	230,4	1,4
2	12,1	28,6	231	1,4
3	12,1	28	231,6	1,4
4	12,09	28,7	231,9	1,4
5	12,08	28,2	232,4	1,4
6	12,06	28,5	232,3	1,4
7	12,05	28,4	232,5	1,4
8	12,03	28,4	232,6	1,4
9	12,01	28,3	232,5	1,4
10	12	28,6	232,7	1,4
11	11,98	28,6	232,8	1,4
12	11,96	28,7	233,1	1,4
13	11,94	28,4	233,2	1,4
14	11,92	28,5	233,1	1,4
15	11,9	28,4	233,2	1,3
16	11,88	28,4	233,5	1,3
17	11,86	28,7	233,3	1,3
18	11,84	28,5	233,4	1,3

19	11,82	28,4	233,6	1,3
20	11,8	28,2	233,6	1,3
21	11,78	28,3	233,6	1,3
22	11,77	28,3	233,8	1,3
23	11,75	28,3	233,6	1,3
24	11,73	28,6	233,7	1,3
25	11,71	28,4	233,9	1,3
26	11,69	28,5	233,7	1,3
27	11,67	28,3	233,9	1,3
28	11,65	28,3	234	1,3
29	11,63	28,3	234	1,3
30	11,61	28,3	234,1	1,3
31	11,59	28,2	234,3	1,3
32	11,57	28,4	234,1	1,3
33	11,54	28,4	234,2	1,3
34	11,52	28,2	234,3	1,3
35	11,5	28,3	234,4	1,3
36	11,48	28,2	234,5	1,3
37	11,46	28,2	234,4	1,3
38	11,43	28,1	234,4	1,3
39	11,4	28,2	234,5	1,3

40	11,38	28,1	234,6	1,3
41	11,35	27,9	234,9	1,3
42	11,32	27,8	234,8	1,3
43	11,29	27,8	234,9	1,3
44	11,25	27,7	234,8	1,3
45	11,22	27,8	235	1,3
46	11,17	27,8	235,1	1,3
47	11,12	27,8	235,2	1,3

48	11,05	27,8	235,1	1,3
49	10,95	28	235,4	1,3
50	10,84	25,1	218	1,2
51	10,49	25	208,5	1,1
52	10,24	24,6	208,7	1,1
53	10,06	24,4	208,8	1,1
54	9,88	24,4	208,8	1,1

7. Data percobaan pengujian beban kapasitif 106,7 VA

Waktu	Baterai		Keluaran Inverter	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	13,16	0,8	229,2	0
1	12,32	11,2	232,4	0,4
2	12,33	11,3	232,8	0,4
3	12,35	11,2	233,2	0,4
4	12,36	11,2	233,4	0,4
5	12,37	11,3	233,5	0,4
6	12,36	11,3	233,5	0,4
7	12,36	11,4	233,6	0,4
8	12,35	11,3	233,7	0,4
9	12,34	11,3	233,9	0,4
10	12,34	11,3	234	0,4
11	12,33	11,3	234	0,4
12	12,32	11,3	234	0,4
13	12,32	11,3	234,1	0,4
14	12,31	11,4	234,1	0,4
15	12,3	11,4	234,2	0,4
16	12,3	11,4	234,3	0,4

17	12,29	11,4	234,3	0,4
18	12,28	11,4	234,3	0,4
19	12,27	11,4	234,3	0,4
20	12,27	11,4	234,4	0,4
21	12,26	11,4	234,5	0,4
22	12,25	11,4	234,5	0,4
23	12,25	11,4	234,5	0,4
24	12,24	11,4	234,5	0,4
25	12,23	11,4	234,5	0,4
26	12,23	11,4	234,6	0,4
27	12,22	11,4	234,6	0,4
28	12,21	11,4	234,6	0,4
29	12,21	11,4	234,7	0,4
30	12,2	11,4	234,7	0,4
31	12,19	11,4	234,7	0,4
32	12,19	11,4	234,7	0,4
33	12,18	11,4	234,8	0,4
34	12,18	11,4	234,8	0,4
35	12,17	11,4	234,9	0,4

36	12,17	11,4	234,9	0,4
37	12,16	11,4	234,8	0,4
38	12,16	11,4	234,9	0,4
39	12,15	11,4	235	0,4
40	12,15	11,4	235	0,4
41	12,14	11,4	235	0,4
42	12,14	11,4	235	0,4
43	12,13	11,4	234,9	0,4
44	12,13	11,4	235	0,4
45	12,12	11,4	235,1	0,4
46	12,12	11,4	235,2	0,4
47	12,11	11,4	235,1	0,4
48	12,11	11,4	235	0,4
49	12,11	11,4	235	0,4
50	12,1	11,4	235	0,4
51	12,1	11,4	235,2	0,4
52	12,09	11,4	235,2	0,4
53	12,09	11,4	235,1	0,4
54	12,09	11,4	235,1	0,4
55	12,08	11,4	235,1	0,4
56	12,08	11,4	235,1	0,4
57	12,07	11,4	235,2	0,4
58	12,07	11,4	235,2	0,4
59	12,06	11,4	235,2	0,4
60	12,06	11,4	235,2	0,4
61	12,05	11,4	235,2	0,4
62	12,05	11,4	235,1	0,4
63	12,05	11,4	235,1	0,4
64	12,04	11,4	235,3	0,4
65	12,04	11,4	235,4	0,4

66	12,04	11,4	235,3	0,4
67	12,03	11,4	235,3	0,4
68	12,03	11,4	235,3	0,4
69	12,02	11,4	235,3	0,4
70	12,02	11,4	235,3	0,4
71	12,02	11,4	235,3	0,4
72	12,01	11,4	235,4	0,4
73	12,01	11,4	235,4	0,4
74	12	11,4	235,4	0,4
75	12	11,4	235,4	0,4
76	11,99	11,4	235,4	0,4
77	11,99	11,4	235,4	0,4
78	11,98	11,4	235,5	0,4
79	11,98	11,4	235,5	0,4
80	11,97	11,4	235,4	0,4
81	11,97	11,4	235,5	0,4
82	11,96	11,4	235,5	0,4
83	11,96	11,4	235,5	0,4
84	11,95	11,4	235,6	0,4
85	11,95	11,4	235,6	0,4
86	11,95	11,4	235,6	0,4
87	11,94	11,4	235,5	0,4
88	11,94	11,4	235,5	0,4
89	11,93	11,4	235,5	0,4
90	11,93	11,4	235,6	0,4
91	11,92	11,4	235,5	0,4
92	11,92	11,4	235,5	0,4
93	11,91	11,4	235,5	0,4
94	11,91	11,4	235,5	0,4
95	11,9	11,4	235,6	0,4

96	11,9	11,4	235,6	0,4
97	11,89	11,4	235,6	0,4
98	11,89	11,4	235,6	0,4
99	11,88	11,4	235,6	0,4
100	11,88	11,4	235,6	0,4
101	11,87	11,4	235,6	0,4
102	11,86	11,4	235,6	0,4
103	11,86	11,4	235,7	0,4
104	11,85	11,4	235,7	0,4
105	11,84	11,4	235,7	0,4
106	11,84	11,4	235,7	0,4
107	11,83	11,4	235,7	0,4
108	11,83	11,4	235,7	0,4
109	11,82	11,4	235,7	0,4
110	11,81	11,4	235,7	0,4
111	11,81	11,4	235,7	0,4
112	11,8	11,4	235,8	0,4
113	11,79	11,4	235,7	0,4
114	11,79	11,4	235,7	0,4
115	11,78	11,4	235,9	0,4
116	11,77	11,4	235,9	0,4
117	11,77	11,4	235,9	0,4
118	11,76	11,4	235,8	0,4
119	11,75	11,4	235,9	0,4
120	11,74	11,4	235,9	0,4
121	11,73	11,4	235,9	0,4
122	11,72	11,4	236	0,4
123	11,71	11,4	236	0,4
124	11,71	11,4	236	0,4
125	11,7	11,4	236	0,4

126	11,7	11,4	236	0,4
127	11,69	11,4	236	0,4
128	11,68	11,4	236	0,4
129	11,67	11,4	236	0,4
130	11,66	11,4	236	0,4
131	11,65	11,4	236	0,4
132	11,64	11,4	236	0,4
133	11,63	11,4	236	0,4
134	11,62	11,4	236	0,4
135	11,61	11,4	236,1	0,4
136	11,6	11,4	236,1	0,4
137	11,58	11,4	236,1	0,4
138	11,57	11,4	236,1	0,4
139	11,56	11,4	236,1	0,4
140	11,54	11,4	236,1	0,4
141	11,53	11,4	236,1	0,4
142	11,52	11,4	236,2	0,4
143	11,5	11,4	236,2	0,4
144	11,48	11,4	236,2	0,4
145	11,46	11,4	236,3	0,4
146	11,44	11,4	236,2	0,4
147	11,42	11,4	236,3	0,4
148	11,4	11,4	236,4	0,4
149	11,37	11,4	236,5	0,4
150	11,34	11,4	236,5	0,4
151	11,28	11,4	236,6	0,4
152	11,24	11,4	236,5	0,4
153	11,14	11,4	236,8	0,4
154	11,06	11,4	236,9	0,4
155	10,93	11,4	237,1	0,4

156	10,8	11,5	237,3	0,4
157	10,71	11,4	237,2	0,4
158	10,64	11,4	237,4	0,4
159	10,56	11,5	237,6	0,4
160	10,47	11,5	237,6	0,4
161	10,39	11,3	236,1	0,4
162	10,38	10,7	220,4	0,4

163	10,33	10,6	219,9	0,3
164	10,3	10,1	211	0,4
165	10,23	10	210,9	0,4
166	10,11	10	210,9	0,3
167	9,99	10,1	211	0,3
168	9,84	10,1	211,1	0,4
169	9,68	10,1	211,1	0,3

8. Data percobaan pengujian beban kapasitif 208,7 VA

Waktu	Baterai		Keluaran Inverter	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	13,16	1,1	229,1	0
1	12,16	21	232,8	0,9
2	12,2	21,1	233,4	0,9
3	12,21	21	233,7	0,9
4	12,21	21	234	0,9
5	12,2	21	234,2	0,9
6	12,2	21,1	234,3	0,9
7	12,19	21	234,4	0,9
8	12,17	21,1	234,7	0,9
9	12,16	21,1	234,7	0,9
10	12,15	21,1	234,8	0,9
11	12,13	21,1	234,9	0,9
12	12,12	21,1	235,1	0,9
13	12,11	21,1	235,1	0,9
14	12,09	21,1	235,2	0,9
15	12,08	21,1	235,1	0,9
16	12,07	21,1	235,2	0,9
17	12,05	21,1	235,2	0,9

18	12,04	21,1	235,3	0,9
19	12,03	21,1	235,4	0,9
20	12,01	21,1	235,4	0,9
21	12	21,1	235,5	0,9
22	11,99	21,1	235,5	0,9
23	11,97	21,1	235,6	0,9
24	11,96	21,1	235,6	0,9
25	11,95	21,2	235,7	0,9
26	11,94	21,2	235,7	0,9
27	11,93	21,2	235,9	0,9
28	11,92	21,2	235,8	0,9
29	11,91	21,2	235,8	0,9
30	11,9	21,2	235,9	0,9
31	11,89	21,2	235,9	0,9
32	11,88	21,2	236	0,9
33	11,87	21,2	236	0,9
34	11,86	21,2	236	0,9
35	11,84	21,2	236,1	0,9
36	11,83	21,2	236,1	0,9
37	11,82	21,2	236,1	0,9

38	11,81	21,2	236,2	0,9
39	11,8	21,2	236,2	0,9
40	11,79	21,2	236,2	0,9
41	11,78	21,2	236,2	0,9
42	11,77	21,2	236,3	0,9
43	11,76	21,2	236,3	0,9
44	11,74	21,2	236,3	0,9
45	11,73	21,2	236,4	0,9
46	11,72	21,2	236,4	0,9
47	11,71	21,2	236,4	0,9
48	11,7	21,2	236,4	0,9
49	11,68	21,2	236,5	0,9
50	11,67	21,2	236,5	0,9
51	11,66	21,2	236,5	0,9
52	11,65	21,2	236,5	0,9
53	11,63	21,2	236,6	0,9
54	11,62	21,2	236,6	0,9
55	11,6	21,2	236,7	0,9
56	11,59	21,2	236,8	0,9
57	11,57	21,3	236,8	0,9
58	11,55	21,3	236,8	0,9
59	11,54	21,3	236,9	0,9

60	11,52	21,3	236,8	0,9
61	11,5	21,3	236,9	0,9
62	11,48	21,3	236,9	0,9
63	11,46	21,3	237	0,9
64	11,44	21,3	237	0,9
65	11,41	21,3	237	0,9
66	11,39	21,3	237,1	0,9
67	11,36	21,3	237,1	0,9
68	11,34	21,3	237,2	0,9
69	11,3	21,3	237,4	0,9
70	11,27	21,3	237,4	0,9
71	11,23	21,3	237,5	0,9
72	11,19	21,3	237,5	0,9
73	11,13	21,3	237,6	0,9
74	11,05	21,3	237,8	0,9
75	10,9	21,4	238,1	0,9
76	10,71	19,8	220,1	0,8
77	10,54	18,8	211,5	0,6
78	10,38	18,8	211,4	0,7
79	10,21	18,9	211,4	0,7
80	10	19	211,4	0,7

9. Data percobaan pengujian beban kapasitif 366,1 VA

Waktu	Baterai		Keluaran Inverter	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	13,16	0,9	230	0
1	12,08	33,6	233	1,6
2	12,1	33,9	233,9	1,6

3	12,08	34	234,4	1,6
4	12,06	34,1	234,4	1,6
5	12,04	34,2	234,6	1,6
6	12,02	34,1	234,8	1,6
7	12	34,1	234,8	1,6

8	11,97	34,3	235,1	1,6
9	11,94	34,2	235,3	1,6
10	11,91	34,2	235,5	1,6
11	11,89	34,3	235,6	1,6
12	11,87	34,3	235,8	1,6
13	11,84	34,3	236	1,6
14	11,82	34,3	236	1,6
15	11,8	34,4	236,1	1,6
16	11,77	34,3	236,2	1,6
17	11,75	34,3	236,3	1,6
18	11,72	34,4	236,2	1,6
19	11,7	34,4	236,3	1,6
20	11,68	34,6	236,4	1,6
21	11,66	34,6	236,5	1,6
22	11,63	34,7	236,6	1,6
23	11,6	34,6	236,8	1,6
24	11,58	34,7	236,8	1,6
25	11,55	34,7	237	1,6

26	11,53	34,8	237,2	1,6
27	11,5	34,9	237,1	1,6
28	11,47	34,8	237,2	1,6
29	11,44	34,8	237,2	1,5
30	11,41	34,9	237,3	1,5
31	11,37	35,1	237,4	1,6
32	11,33	35,2	237,5	1,6
33	11,29	35,2	237,6	1,5
34	11,24	35,2	237,7	1,6
35	11,19	35,3	237,7	1,5
36	11,18	33	224,3	1,4
37	11,13	32,5	220,2	1,4
38	11,08	32,1	219,9	1,4
39	11	32,1	219,9	1,4
40	10,9	30,6	211,5	1,5
41	10,6	30,9	211,4	1,4
42	10,13	31,2	211,4	1,4
43	9,92	31,1	208,3	1,3

10. Data percobaan pengujian beban AC

Waktu Menit	Baterai		Keluaran Inverter	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	13,16	2,9	229,3	0,1
1	12	40,9	228,3	2,1
2	11,97	41,1	228,3	2,1
3	11,95	41,2	228,3	2,1
4	11,94	41,3	228,3	2,1
5	11,92	41,6	228,3	2,1
6	11,9	41,8	228,3	2,1

7	11,89	41,3	228,3	2,1
8	11,87	40,8	228,3	2,1
9	11,85	40,7	228,3	2,1
10	11,82	41,7	228,2	2,1
11	11,79	42	228,2	2
12	11,77	42,3	228,2	2
13	11,74	42	228,2	2
14	11,72	42,2	228,2	2
15	11,69	41,8	228,2	2

16	11,65	42	228,2	1,9
17	11,64	41,9	228,1	1,9
18	11,6	41,9	228,1	1,9
19	11,57	42,1	228,1	1,9
20	11,54	41,9	228,1	1,9
21	11,51	41,5	228,1	1,8
22	11,47	41,5	228,1	1,8
23	11,44	41,6	228	1,8
24	11,4	42,1	228	1,8
25	11,36	41,8	228	1,8

26	11,33	43,9	228	1,8
27	11,29	44	228	1,8
28	11,24	41,4	227,9	1,8
29	11,19	43,5	227,9	1,7
30	11,14	42,8	227,9	1,7
31	11,08	42,5	227,9	1,7
32	11,01	43	227,8	1,7
33	10,91	43,6	227,8	1,7
34	10,78	44,3	227,7	1,8
35	10,42	49,9	227,1	2,1