

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UJI DAYA TAHAN AKI KENDARAAN BERMOTOR SESUAI STANDAR NASIONAL INDONESIA

DESIGN AND CONSTRUCTION OF LEAD ACID BATTERY LIFE CYCLE TESTER ACCORDING TO INDONESIAN NATIONAL STANDARD

Susanto Sigit Rahardi

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T), Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri (BPKIMI),
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia
Jalan Sangkuriang No. 14 Bandung, Jawa Barat.
Pos-el: susantosr@yahoo.com

ABSTRACT

Lead acid battery life cycle tester has been designed and constructed at Electrical Laboratory in B4T. The system consists of voltage and current controller and digital system. The purpose of the system is to test life cycle of lead acid batteries to meet government regulation and laboratory requirements specified by Indonesian National Standard (SNI).

Keywords: Lead acid battery, Life cycle, SNI

ABSTRAK

Alat uji daya tahan aki kendaraan bermotor telah dirancang dan dibuat di Laboratorium Listrik B4T. Sistem ini terdiri atas pengendali tegangan, arus, dan sistem digital. Tujuan sistem adalah untuk dapat menguji daya tahan aki dalam memenuhi peraturan pemerintah dan persyaratan laboratorium uji sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Kata kunci: Aki, Daya tahan, SNI

PENDAHULUAN

Penggunaan aki untuk kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat dengan pesat seiring dengan meningkatnya perkembangan industri kendaraan bermotor, baik kendaraan bermotor roda empat maupun roda dua. Aki kendaraan bermotor roda empat atau lebih dengan SNI 0038:2009¹ adalah merupakan produk yang SNI-nya diberlakukan wajib di Indonesia dan rencananya akan dinotifikasikan ke *World Trade Organization* (WTO).

Berbeda dengan parameter pengujian aki yang lain yang memerlukan waktu pengujian yang relatif singkat, pengujian daya tahan aki memerlukan waktu yang lama bergantung pada besar kecilnya kapasitas aki. Rata-rata pengujian ini untuk setiap tipe adalah tiga sampai empat bulan. Solusinya adalah pengadaan beberapa unit alat uji daya tahan aki sehingga pengujian dapat dilaksanakan secara paralel atau pengujian dilakukan di pabrik.

Laboratorium listrik Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) adalah laboratorium pemerintah sebagai satu-satunya laboratorium

pihak ketiga yang memiliki alat uji ini dan didapat dari impor. Untuk memenuhi kebutuhan pengujian yang banyak, perlu upaya dalam meningkatkan kemampuan penguasaan teknologi laboratorium pengujian, penelitian dalam desain, pembuatan dan pengembangan alat tersebut.^{2,3}

Tujuan penelitian ini adalah adanya rancangan dan alat uji daya tahan aki kendaraan bermotor yang siap pakai sesuai dengan persyaratan SNI 0038:2009.¹ Alat ini akan digunakan untuk menguji aki dalam proses sertifikasi SNI. Hasil penelitian ini diharapkan mempunyai dampak yang signifikan bagi standarisasi industri, jaminan mutu, dan perlindungan konsumen karena langsung digunakan di laboratorium uji.

Penelitian dan pengembangan ini juga dapat membuka peluang Indonesia untuk berkiprah lebih jauh dalam perkembangan standarisasi industri di dunia seperti *International Organization for Standardization (ISO)*, *International Electrotechnical Commission (IEC)*, dan kerja sama industri di berbagai negara.

Kegiatan penelitian ini ditempuh melalui beberapa tahap. Tahap pertama adalah mengkaji persyaratan yang ditetapkan oleh SNI 0038:2009¹ sehingga dapat dirumuskan pernyataan konseptual (*conceptual statements*) yang dirinci dalam persyaratan fungsional dan persyaratan non-fungsional. Berdasarkan persyaratan standar tersebut, dibuat dasar-dasar rancangan solusi umum desain sistem yang dapat memenuhi persyaratan-persyaratan tersebut sebagai desain level ke-1. Dari desain umum, ditetapkan spesifikasi teknis yang dibutuhkan dalam pengujian di laboratorium. Tahap selanjutnya adalah pembuatan sistem, bagian per bagian, dimulai dari catu daya, pengendali arus, pengendali utama, dan uji coba rangkaian sistem analog. Sistem ini selanjutnya dikembangkan ke arah pengendalian sistem digital untuk menjawab masalah kestabilan pengendalian. Tahap terakhir adalah kalibrasi dan uji coba di laboratorium.

Persyaratan Sistem

Persyaratan sistem (*system requirement*) adalah kumpulan ketentuan teknis yang menjadi pokok desain dan pengembangan suatu sistem. Dari kajian SNI 0038:2009,¹ ditetapkan dua jenis persyaratan sistem, yaitu:

Persyaratan fungsional dan

Persyaratan non-fungsional

Persyaratan fungsional

Persyaratan kerja alat yang dirancang harus memenuhi kemampuan yang dituntut oleh standar SNI 0039:2009¹ sebagai salah satu persyaratan utama sistem. Pada standar SNI 0038:2009, kegiatan pengujian daya tahan aki kendaraan bermotor dirinci pada bagian metode pengujian kinerja. Pada awal pengujian daya tahan, aki yang telah diisi penuh dilakukan pelepasan muatan (*discharging*) dengan arus tertentu. Arus ini dibatasi sesuai dengan ketentuan standar dan dilakukan dengan durasi waktu tertentu, kemudian dilakukan pengisian (*charging*) dengan tegangan tertentu dan dilakukan dengan durasi waktu tertentu. Proses pelepasan muatan (*discharging*) dan pengisian muatan (*charging*) merupakan satu siklus dan dilakukan secara berulang-ulang sesuai dengan yang dipersyaratkan SNI 0038:2009. Persyaratan ini menetapkan bahwa sistem yang dibangun harus mempunyai tingkat ketelitian, kestabilan arus, dan tegangan. Instrumen yang digunakan sebaiknya sesuai dengan kelasnya dan mampu beroperasi dan bertahan secara terus-menerus tanpa ada gangguan.

Persyaratan non-fungsional

Persyaratan non-fungsional untuk mendukung kinerja alat uji daya tahan aki ini adalah sistem pendinginan pada pengendali arus. Arus tersebut dapat mencapai 50 A dan dipecah menjadi 7 jalur arus dengan 7 transistor daya.⁴ Arus basis ketujuh transistor ini disuplai oleh transistor *Darlington*.⁵ Rangkaian transistor daya tersebut ditempatkan pada *heatsink*. Bagian ini dapat menjadi panas dan dapat menggeser karakteristik pengendalian arus. Dengan adanya efek panas ini, pengujian menjadi tidak optimal. Oleh karena itu, perlu kipas dan pengarah angin untuk memaksa kalor keluar dari bagian dalam alat ke luar secara konveksi.

Desain Umum

Sistem uji daya tahan (*life cycle*) aki terdiri atas dua proses, yakni pelepasan muatan aki (*discharge*) dengan arus tetap dan pengisian

muatan aki (*charge*) dengan tegangan tetap dan arus dibatasi. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan standar. Untuk itu, perlu rangkaian pelepasan muatan aki (*discharge*), pengisian muatan aki (*charge*), dan pengendali proses (*controller*), seperti diilustrasikan blok diagram pada Gambar 1.

Pada Gambar 1, aki diberi muatan yang bersumber dari tegangan jala-jala melalui transformator tiga fase dan disearahkan menggunakan dioda yang mempunyai spesifikasi kerja pada arus yang tinggi. Penyearahan ini menggunakan prinsip *bridge rectifier*⁴ tiga fase sehingga arus keluaran yang didapatkan adalah arus searah.

Arus keluaran penyearah kemudian diatur oleh rangkaian modul transistor.⁶ Arus yang telah diatur tersebut kemudian diisi ke aki. Untuk mengukur arus, digunakan *shunt resistor* 50A/50mV terkalibrasi. Jatuh tegangan pada ujung-ujung *shunt resistor* dideteksi oleh *Analog-to-Digital Converter* (ADC) yang berfungsi mengonversi beda tegangan listrik menjadi sinyal digital.⁷ Sinyal digital ini menjadi masukan (*input*) bagi *microcontroller* untuk mengendalikan pengendali analog (*analog control unit*).

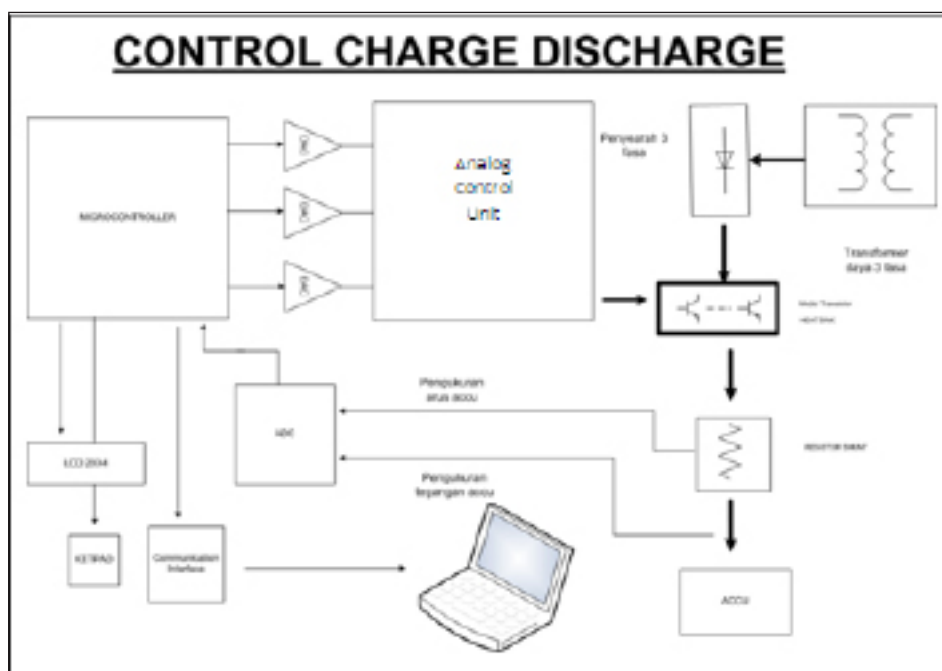
Mikrokontroler berfungsi untuk mengolah masukan dari ADC dan memberikan keluaran

untuk menyesuaikan tegangan referensi yang dikeluarkan oleh *Digital-to-Analog Converter* (DAC).⁸ *Setting* tegangan, arus dan waktu dapat dimasukkan ke sistem melalui *keypad* atau dari komputer. Status pengujian dapat dimonitor melalui LCD atau komputer. Sistem ini dapat bekerja mandiri (*stand-alone*) atau dikendalikan oleh komputer melalui *communication interface*. Data pengujian yang dikirim ke komputer dapat diformat untuk mencetak laporan pengujian.

Pada penelitian ini, digunakan mikrokontroler ATmega128 dengan maksud untuk mengeksplorasi dan memanfaatkan fitur-fiturnya yang lebih banyak dibandingkan dengan mikrokontroler sejenis.⁹ Selain itu, mikrokontroler ini mempunyai memori *non-volatile* yang lebih besar sehingga mampu menyimpan data pengujian sementara dalam mode operasi *stand-alone*. Data ini diperlukan pada saat *system restart* karena pemadaman listrik jala-jala.

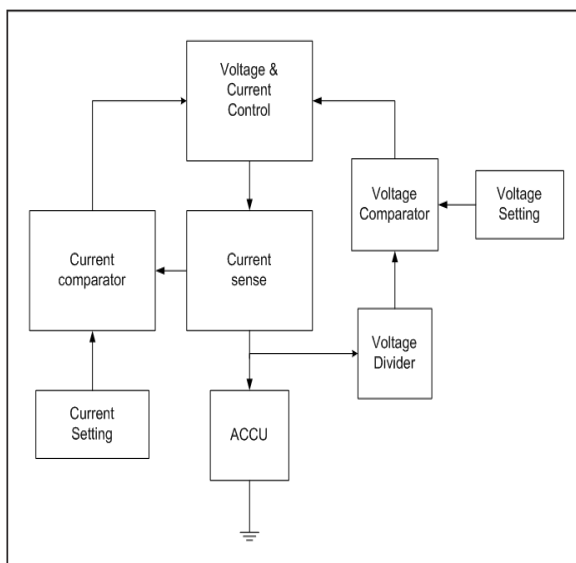
Fungsi pengisian muatan listrik (*charging*)

Fungsi pengisian muatan listrik dipenuhi oleh kemampuan sistem untuk meregulasi arus dan tegangan. Secara umum, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram blok desain umum sistem uji daya tahan aki

Tegangan aki dibaca oleh rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) dan kemudian dibandingkan dengan tegangan referensi oleh pembanding tegangan (*voltage comparator*). Selain itu, arus yang masuk ke dalam aki diukur oleh pembaca tegangan (*current sense*) pada *shunt resistor* 50V/50mV. Hasil pengukuran ini dibandingkan dengan referensi oleh pembanding arus (*current comparator*). Referensi ini ditetapkan oleh *setting* arus (*current setting*). Dengan masukan dari pembanding arus dan tegangan, pengendali arus dan tegangan mengatur tegangan yang diberikan ke aki dengan arus yang dibatasi.



Gambar 2. Diagram blok fungsi pengisian (*charging*)

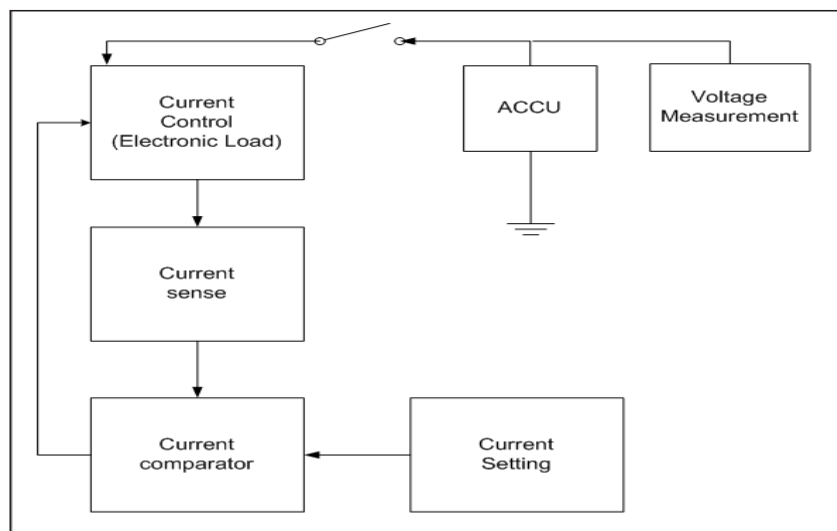
Fungsi pelepasan muatan listrik (*discharging*)

Fungsi pelepasan muatan listrik pada aki dipenuhi oleh kemampuan sistem untuk mengatur arus pelepasan oleh rangkaian modul transistor. Fungsi ini secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.

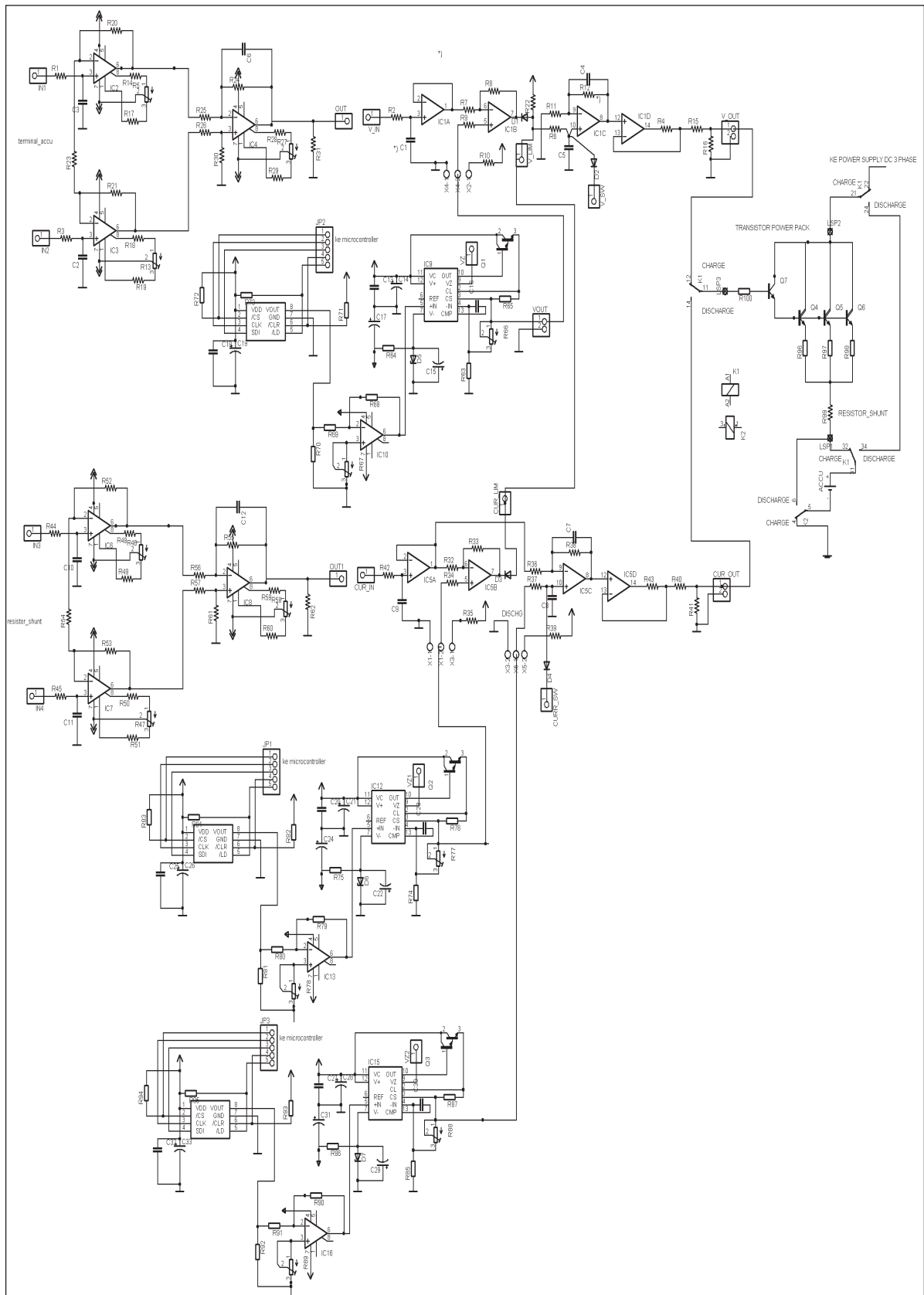
Fungsi beban elektronik (*electronic load*) dilaksanakan oleh rangkaian modul transistor yang dipasang seri dengan *shunt resistor*. Beda tegangan *shunt resistor* diukur oleh pengukur arus (*current sense*) dan hasil pengukuran itu digunakan oleh pembanding arus untuk mengendalikan beban elektronik. Rangkaian ini juga mengukur tegangan aki.

Pada sistem analog, pengendali analog (*analog control unit*) berperan dalam mengendalikan arus dan tegangan. Siklus pengisian dan pelepasan dilakukan oleh *relay* yang dikendalikan oleh *timer* dan statusnya dihitung oleh *counter*. *Setting* arus, tegangan, dan waktu siklus dilakukan secara manual. Pada pengembangan selanjutnya dengan sistem digital, semua pengendalian dilaksanakan oleh mikrokontroler.

Secara umum, sistem pengisian muatan (*charge*) dan pelepasan muatan (*discharge*) pada pengendali analog (*analog control unit*) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Diagram blok fungsi pelepasan muatan aki (*discharging*)



Gambar 4. Skematik umum sistem pengisian dan pelepasan muatan aki

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Sampling

Tegangan aki dan pada *shunt* resistor dideteksi oleh rangkaian *operational amplifier* (OP-AMP)¹⁰ dan dibaca oleh ADC. Sebenarnya mikrokontroler ATmega128 mempunyai ADC sendiri, tetapi hanya 10 bit. Namun, ADC 10 *bit* sangat terbatas dalam memenuhi persyaratan tingkat ketelitian 0,1%. Untuk itu, digunakan ADC 12 *bit* yang mampu *men-sampling* sinyal analog sebanyak 4.098 dan cukup memadai untuk memenuhi persyaratan ketelitian tersebut.

Pergeseran titik kendali (*drift*)

Pada tahap awal pengembangan menggunakan sistem analog, muncul masalah pergeseran titik kendali. Pengoperasian alat uji daya tahan aki sistem pengendali analog (*analog control unit*) selalu terjadi pergeseran titik kendali (*drift*) dari *setting* yang telah ditentukan seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Angka yang muncul pada pengatur tegangan dan arus bervariasi sehingga perlu pengawasan operator yang terus menerus sehingga kurang efisien. Untuk itu, perlu sistem pengendalian digital yang mampu mengkompensasi pergeseran yang terjadi secara otomatis pada sisi *setting* ke nilai yang seharusnya.

Pada Tabel 1, proses pelepasan (*discharging*) terjadi pergeseran pada pembacaan arus yang seharusnya tetap 12,00 A. Pada proses pengisian (*charging*), terjadi pergeseran pembacaan tegangan yang seharusnya 14,80 V. Namun, perlu

90 menit untuk mencapai *setting* yang seharusnya, yaitu 14,80 V.

Sistem digital yang telah didesain ini bekerja otomatis untuk mengurangi perubahan nilai tegangan dan arus akibat perubahan parameter komponen elektronik dan gangguan sistem.

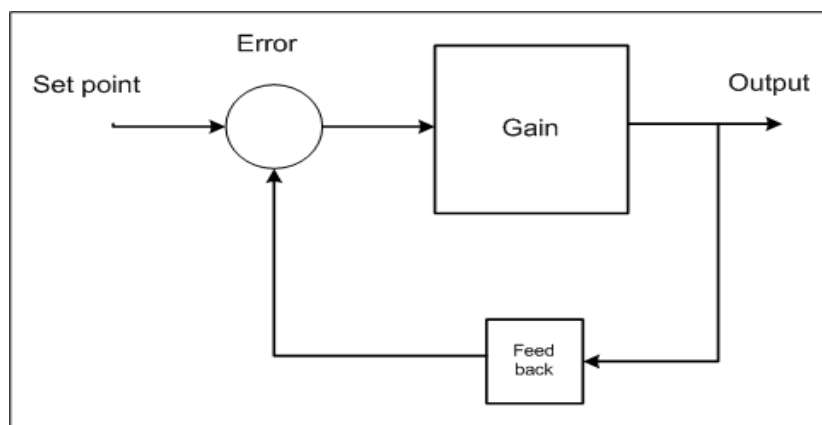
Secara umum, balikan (*feedback*) ini dapat diilustrasikan sebagai sistem kendali tertutup pada Gambar 5.

Balikan diberikan oleh ADC kepada mikrokontroler. Mikrokontroler akan segera menanggapi setiap perubahan nilai tegangan dan arus serta mengembalikan nilai-nilai tersebut sesuai dengan tegangan dan arus referensi sebagai *set point*. Dengan demikian, pergeseran titik kendali pada rangkaian analog dikoreksi secara otomatis.

Walaupun dapat mengatur tegangan dan arus yang berasal dari penyearah tiga fase, namun sistem ini belum dapat mengatasi *voltage sags*, *interruptions*, *flicker*, *transient*, dan distorsi harmonik.¹²

Pengujian

Pada uji coba di bulan Desember 2010 telah didapatkan unjuk kerja yang sesuai dengan dilaksanakannya pengujian aki untuk beban ringan dan berat. Pada masa uji coba tersebut, tidak terdeteksi pergeseran titik kendali (*drift*). Pengujian berjalan dengan otomatis dan tidak perlu pengaturan ulang oleh operator. Hal ini memudahkan operator dalam menjalankan alat uji ini dan mutu pengujian menjadi semakin baik.



Gambar 5. Balikan (*feedback*) pada sistem uji

Kalibrasi dilakukan dengan alat ukur AC/DC True RMS Multimeter Fluke 189 yang memiliki akurasi dan presisi yang lebih tinggi. Hasil kalibrasi yang dilaporkan tertelusur ke satuan pengukuran standar internasional (SI).

Tegangan referensi dan linieritas

Tegangan referensi sebagai *setting* pada pengendali analog (*analog control unit*) dibangkitkan oleh DAC 12 *bit*.⁸ Pilihan DAC 12 *bit* ini untuk menyelaraskan data yang diolah oleh mikrokontroler agar sesuai dengan persyaratan fungsional dengan ketelitian 0,1%. Data keluaran mikrokontroler masuk ke DAC melalui *Signal Data In* (SDI) yang merupakan *pin* data serial. Agar kinerja DAC sesuai, *clock* yang digunakan disamakan dengan *clock* yang dibangkitkan mikrokontroler. Hubungan data masukan (*data input*) dari mikrokontroler dengan keluaran (*output*) DAC adalah

$$\text{Output DAC} = (\text{data input}/4095) * 4095 \text{ mV.}$$

Data input = data digital biner 12 *bit* yang dikirim melalui *pin* SDI (DAC7611).

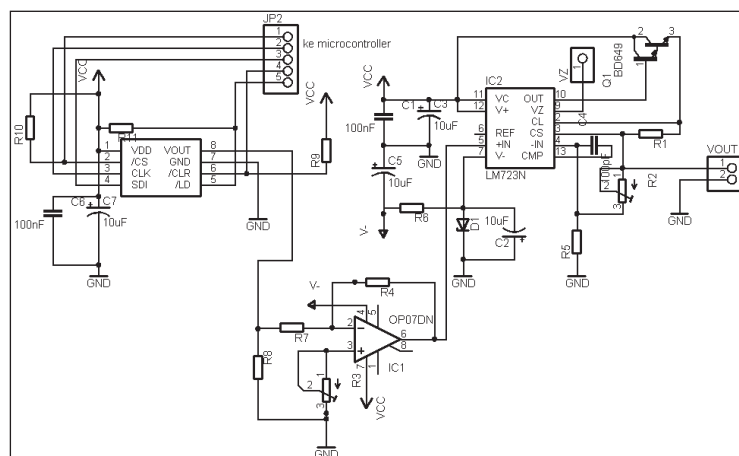
Keluaran DAC kemudian diperkuat oleh OP-AMP dan diregulasi oleh *voltage regulator* LM723.¹¹ Secara garis besar gambaran mengenai rangkaian ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada Gambar 6, IC2 meregulasi tegangan yang dikeluarkan oleh DAC. Tegangan referensi di terminal VOUT menjadi masukan pengendali analog (*analog control unit*) untuk mengendalikan rangkaian modul transistor yang mengendalikan arus ke aki.

Desain rangkaian ini diperlukan agar pengendalian digital berbanding lurus linier terhadap arus yang dihasilkan pada rangkaian modul transistor. Dengan rangkaian ini masalah *non-linearity* pada sistem kendali dalam pengembangan sistem ini telah dapat diselesaikan. Pada desain yang telah dibuat, hubungan antara mikrokontroler dengan pengaturan arus sudah linier dan dinyatakan oleh data pada Tabel 2.

Tabel 2. Linieritas Pengendalian

Pelepasan (<i>Discharging</i>)	
Tegangan (V) pada DAC	Arus pelepasan (A)
0,0804	0,99
0,1442	2,00
0,2073	3,01
0,2696	4,01
0,3318	5,01
0,3933	6,00
0,4561	7,01
0,5180	8,01
0,5795	9,00
0,6425	10,01



Gambar 6. Rangkaian tegangan referensi dengan DAC

Aspek ekonomi

Pada saat pengadaan barang dan jasa untuk pengembangan alat ini, komponen yang digunakan mudah didapatkan di pasaran dalam negeri. Dengan spesifikasi teknis yang sama, biaya pembuatan relatif lebih murah dibandingkan alat serupa buatan luar negeri. Dengan sistem produksi yang diperhitungkan, biaya produksi dapat ditekan dan harga jual alat ini dapat jauh lebih murah. Alat uji ini memungkinkan untuk diproduksi oleh Industri Kecil dan Menengah (IKM) Indonesia karena komponen dan sumber daya manusia sangat tersedia di dalam negeri.

KESIMPULAN

Seperangkat alat uji daya tahan aki telah dibuat dengan menggunakan sistem digital untuk mengendalikan pengisian (*charge*) dan pelepasan (*discharge*) muatan listrik. Rancangan ini mempunyai pengendalian yang mantap sehingga mampu mengatasi pergeseran titik kendali (*drift*) dan masalah linieritas.

SARAN

Untuk meningkatkan mutu pengujian, pengembangan sistem yang perlu dilanjutkan adalah pengaruh suhu terhadap unjuk kerja sistem, terutama rangkaian yang berarus listrik tinggi. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi pengukuran dan berbagai kompensasi pada sistem pengendaliannya untuk meningkatkan ketelitian (*precision*). Selain itu, perlu kajian lebih lanjut mengenai ketidakpastian dalam pengukuran pada sistem ini untuk memenuhi persyaratan sistem manajemen mutu laboratorium pengujian dan kalibrasi pada ISO IEC 17025.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak T.B. Sukarjo yang telah membuka jalan rintisan bagi penelitian dan pengembangan kelistrikan dan elektronika di Laboratorium Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T), Bandung. Ucapan

terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Tony Sudarno yang telah mendampingi penulis secara teknis selama penelitian sejak tahun 2009 sampai 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2009. SNI 0038:2009 *Aki untuk Kendaraan Bermotor Roda Empat atau Lebih*.
- ²T.B. Sukarjo, dkk. 2005. *Laporan Perekayasaan Alat Uji Daya Tahan Aki Kendaraan Bermotor*. Bandung: Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T).
- ³T.B. Sukarjo, dkk. 2010. *Laporan Perekayasaan Peningkatan Kemampuan Alat Uji Daya Tahan Aki Kendaraan Bermotor; Dari Sistem Analog ke Digital*. Bandung: Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T).
- ⁴2N3773 *High Power NPN Transistor*. 2008. STMicroelectronics. USA
- ⁵MJ11016 *NPN Silicon Darlington Transistor*. Wing Shing Computer Components Co., (H.K.). Ltd.
- ⁶Gary Rockis. 1993. *Solid State Fundamentals For Electricians*. USA: American Technical Publishers, Inc.
- ⁷ADS7822 *12-bit High Speed 2.7V Micro Power Sampling Analog-To-Digital Converter*. 1997. Burr-Brown Corporation. USA.
- ⁸DAC7611 *12-bit Serial Input Digital-To-Analog Converter*. 1997. Burr-Brown Corporation. USA.
- ⁹ATmega128 *8-bit AVR Microcontroller with 128KBytes In-System Programmable Flash*. 2011. USA: ATMEL Corporation.
- ¹⁰LM741 *Operational Amplifier*. 2000. National Semiconductor. USA.
- ¹¹LM 723 *Voltage Regulator*. 1999. National Semiconductor. USA.
- ¹²Dugan, Mc Granaghan, Surya Santoso, Beaty. 2004. *Electrical Power Systems Quality*. McGraw-Hill Companies.

PUSTAKA PENDUKUNG

- Malvino. 1983. *Electronic Principles*. USA: McGraw-Hill, Inc.