

IMPLEMENTASI SCR *PHASE ANGLE CONTROL* PADA KENDALI CATU DAYA *PULLER* SUMBER ION SIKLOTRON

Saminto dan Saefurrochman

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1601 ykbb, Yogyakarta
email: saminto@batan.go.id

ABSTRAK

IMPLEMENTASI SCR *PHASE ANGLE CONTROL* PADA KENDALI CATU DAYA *PULLER* SUMBER ION SIKLOTRON. Telah diimplementasikan SCR phase angle control tipe LPC-90HAN pada kendali catu daya puller. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perangkat pengendali catu daya puller yang dapat dioperasikan relatif lebih mudah, lebih praktis, kompak dan dapat dikembangkan untuk sistem otomatisasi. Eksperimen meliputi, pemrograman DAC pada super PLC Fx2424, komunikasi RS-232, pengukuran masukan dan keluaran SCR dan pengukuran tegangan keluaran catu daya puller. Hasil pengukuran input dan output pada catu daya puller diperoleh proporsionalitas dan linieritas yang cukup baik dengan persamaan $V_{out} = 17,867 \cdot V_{in}$ dengan $R^2 = 0,9983$. Hasil uji SCR LPC-90HAN menunjukkan terjadi proporsionalitas antara tegangan output dan input nya tetapi tidak linier dan diperoleh persamaan $y = 4,898x^3 - 38,676x^2 + 128,58x + 15,23$ dengan $R^2 = 0,9947$. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada data masukan 24 dihasilkan tegangan keluaran catu daya puller sebesar 1000 VDC. Pada data masukan 628 menghasilkan tegangan keluaran catu daya puller 3000 VDC. Secara keseluruhan, eksperimen perangkat kendali catu daya puller sumber ion dapat bekerja baik dan SCR phase angle control dapat diimplementasikan sebagai pengganti variac dalam pengaturan catu daya puller.

Kata kunci: SCR phase angle control, DAC, catu daya puller, sumber ion siklotron

ABSTRACT

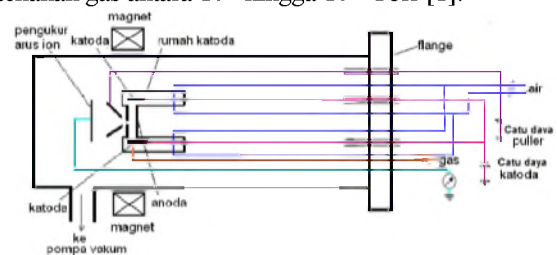
THE IMPLEMENTATION OF SCR *PHASE ANGLE CONTROL* ON THE *PULLER POWER SUPPLY CONTROLLER FOR CYCLOTRON ION SOURCE*. SCR. Phase angle control type LPC-90HAN was implemented on the puller power supply controller for cyclotron ion source. This research aim is to obtain the puller power supply controller that is operated more easily, more practice, compact and can be improved for automation system. The experiment consists of DAC programming in Fx2424 Super PLC, RS-232 communication, measuring input and output of SCR and measuring the puller output voltage. The measurement result of the input and output of puller were obtained good enough proportionality and linearity with $V_{out} = 17.867xV_{in}$ and $R^2 = 0.9983$. The test result of the SCR LPC-90HAN shows proportionality between its input and output voltage but not linear and obtained equation $y = 4.898x^3 - 38.676x^2 + 128.58x + 15.23$ with $R^2 = 0.9947$. The test result shows that the digital input data equal 24 will be obtained puller output voltage is 1000 DCV. At the digital input data equal 628 will be obtained puller output voltage is 3000 DCV. Overall, the experiment of puller power supply controller for ion source has worked well and SCR phase angle control can be implemented as variac in the puller power supply controller.

Keywords: SCR phase angle control, DAC, puller power supply, cyclotron ion source.

PENDAHULUAN

Siklotron Proton DECY-13 untuk Produksi Radio Isotop (PRI) merupakan akselerator siklik untuk mempercepat berkas partikel yang dihasilkan dari sumber ion. Dalam rangka untuk mendukung rancangbangun Siklotron Proton DECY-13 diperlukan sebuah perangkat uji sumber ion jenis Penning Ionization Gauge (PIG). Pada disain siklotron DECY-13, sumber ion PIG berfungsi sebagai pembangkit ion H⁺. Pada sumber ion tersebut, molekul-molekul gas hidrogen diionisasi di dalam

ruang sumber ion dan pada umumnya beroperasi pada tekanan gas antara 10^{-4} hingga 10^{-1} Torr [1].



Gambar 1. Sumber ion jenis Penning Ionization Gauge (PIG)

Untuk mengionisasi ion-ion H⁻ diperlukan catu daya katoda yang relatif tinggi dan untuk menarik ion dapat keluar dari sumber ion diperlukan catu daya tegangan *puller*. Sebuah diagram dari suatu sumber ion jenis PIG ditampilkan pada Gambar 1.

Catu daya *puller* memerlukan tegangan yang dapat divariasikan mulai 0 V sampai 4000 V dengan arus sampai 0-0,5A [2]. Untuk mendukung optimasi perangkat uji fungsi sumber ion, perlu dilakukan percobaan untuk mengendalikan catu daya tegangan *puller*.

Pada beberapa penelitian telah dilakukan pengendalian terhadap catu daya [3-5]. Hardika [3], mengendalikan sumber tegangan tinggi LFG40 untuk sistem pembangkitan plasma yang dilengkapi dengan DAQ, rangkaian DAC, rangkaian pembagi tegangan dan LabVIEW. Indrati [4] juga melakukan pengaturan tegangan menggunakan variac untuk pengujian tungku 1000°C untuk produksi ZrO₂. Nugroho [5] memanfaatkan Super PLC T100MD 1616+ untuk mengatur sumber tegangan tinggi berbasis *variatic* pada perangkat nitridasi plasma.

Pada penelitian ini akan diimplementasikan *SCR phase angle controller* tipe LPC-90HDA sebagai pengganti *variatic* dalam pengendalian catu daya *puller*. Pemilihan *SCR phase angle controller* sebagai pengganti variac cukup tepat dikarenakan memiliki beberapa kelebihan antara lain: konstruksi ringkas, harganya relatif murah, sudut fasenya bisa diatur. Keluaran *SCR phase angle controller* akan dihubungkan ke trafo catu daya *puller* sumber ion.

Super PLC turut diaplikasikan pada penelitian ini. Beberapa penelitian menggunakan Super PLC diantaranya pemantauan melalui *ethernet* dari surveymeter gamma [6], komunikasi data pada proses nitridasi plasma [7], sistem instrumentasi kendali vakum dan sistem pewaktu proses nitridasi plasma [8]. Penggunaan Super PLC seri F ini diharapkan mampu meningkatkan kinerja pengendalian catu daya *puller*.

Penelitian ini bertujuan agar mendapatkan perangkat pengendali catu daya *puller* yang dapat dioperasikan relatif lebih mudah, lebih praktis, kompak dan dapat dikembangkan untuk sistem otomatisasi.

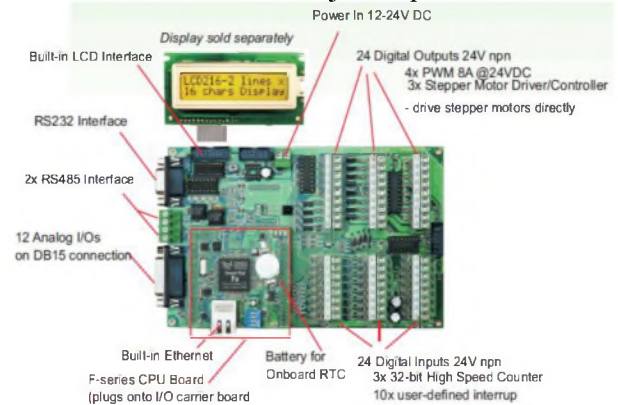
TATA KERJA

Alat dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan beberapa alat dan bahan meliputi Super PLC Fx2424 beserta program TBASIC, kabel komunikasi RS232, *SCR phase angle controller* tipe HBC-90HAN, multimeter digital DVM SANWA PC 5000, PC dengan Windows 7, LabVIEW 2011, kabel-kabel konektor dan *toolset*.

Super PLC Fx2424 [9]

Pada penelitian percobaan ini digunakan Super PLC Fx2424 yang merupakan bagian dari keluarga super PLC seri-F dari *Triangle Research*. Sebuah modul PLC seri Fx2424 ditunjukkan pada Gambar 2.

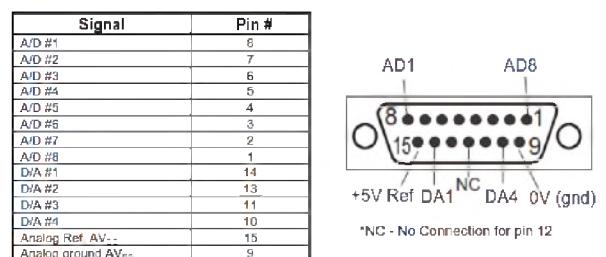


Gambar 2. Modul Super PLC Fx2424 [9]

Super PLC Fx2424 dilengkapi port *ethernet* yang dapat dihubungkan langsung ke jaringan *router switch* atau hubungan akses LAN atau internet. Super PLC Fx2424 menggunakan *software client/server* dari iTRILOGI untuk dapat memprogram serta langsung tersambung dengan internet. Spesifikasi super PLC seri Fx2424 adalah 8 saluran *input* analog 12 bit, 4 saluran *output* analog, 24 saluran *input/output* digital, kendali motor *stepper*, keluaran PWM, satu port RS232 dan dua port RS485, *real time clock* dan port LCD untuk antarmuka sederhana.

Program kendali DAC

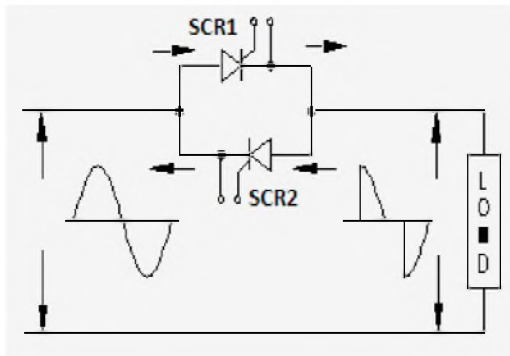
Untuk membuat program pada Super PLC Fx2424 digunakan diagram *Ladder* dan TBASIC. Bahasa pemrograman TBASIC berguna untuk mempermudah dalam membuat program PLC. Salah satu fitur Super PLC Fx2424 adalah keluaran *digital to analog* (DAC). Untuk mengaktifkan DAC atau mengirim keluar analog dapat dieksekusi menggunakan perintah *SETDAC*. Kanal masukan dan keluaran analog dari PLC Fx2424 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kanal masukan dan keluaran analog [9]

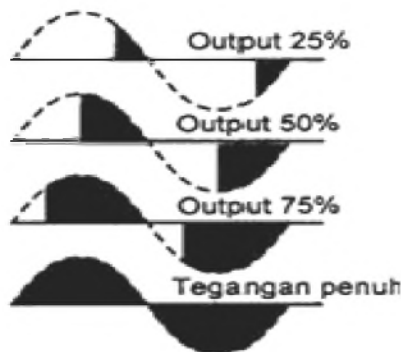
Pengendali sudut fase SCR (*SCR phase angle controller*)

Pengendali sudut fase SCR adalah suatu teknik pengaturan pemicuan *gate* SCR untuk mengendalikan daya atau tegangan ke beban, misal, transformator, heater, dll. Prinsip kerja dari *SCR phase angle control* dijelaskan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengendali sudut fase SCR [10]

Gambar 4 menunjukkan penggunaan dua SCR yang dihubungkan secara terbalik paralel (*back to back*) untuk memperoleh kontrol gelombang penuh. Dalam hubungan ini, SCR pertama mengontrol tegangan positif bentuk gelombang sinus dan SCR yang lain mengontrol tegangan negatif. Kontrol arus dan percepatan dicapai dengan pemberian *trigger* dan penyalaan SCR pada waktu yang berbeda selama setengah siklus. Jika pulsa *trigger* diberikan awal pada setengah siklus, maka keluarannya tinggi. Jika pulsa *trigger* diberikan terlambat pada setengah siklus, maka hanya sebagian kecil dari bentuk gelombang yang dilewatkan dan mengakibatkan keluarannya kecil. Pada Gambar 4 menunjukkan penggunaan dua SCR dihubungkan secara terbalik paralel (*back to back*) untuk memperoleh kontrol gelombang penuh seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk tegangan AC dikontrol dua SCR dihubung terbalik paralel.

Dalam hubungan ini, SCR pertama mengontrol tegangan positif bentuk gelombang sinus dan SCR yang lain mengontrol tegangan negatif. Kontrol arus dan percepatan dicapai dengan pemberian *trigger* dan penyalaan SCR pada waktu yang berbeda selama setengah siklus. Jika pulsa *trigger* diberikan awal pada setengah siklus, maka outputnya tinggi. Jika pulsa *trigger* diberikan terlambat pada setengah siklus, maka hanya sebagian kecil dari bentuk gelombang yang dilewatkan dan mengakibatkan outputnya kecil. Sebuah modul *SCR phase angle control* tipe LPC-90HAN ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Modul *SCR phase angle control* seri HBC-90HAN

HBC-90HAN adalah modul kontrol sudut fasa dirancang untuk digunakan dengan standar SSR (*Solid State Relay*). Modul disekrup langsung pada permukaan SSR. Modul ini beroperasi dengan memvariasikan pemicuan masukan SCR. Daya yang dikirim ke beban sebanding dengan sinyal perintah masukan. Spesifikasi Modul *SCR phase angle control* tipe LPC-90HAN ditunjukkan pada Tabel 1.

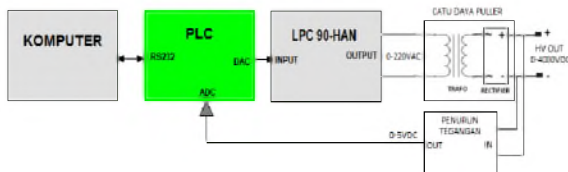
Tabel 1. Spesifikasi modul *SCR phase angle control* tipe LPC-90HAN [11]

OUTPUT SPECIFICATIONS	AC Control
	HBC-90HAN
Operating Voltage (47-63 Hz) [Vrms]	48-530
Load Current Range [Arms]	04-70
Transient Overvoltage [Vpk]	1200
Max. Surge Current (16.6ms) [Apk]	1200
Max. On-State Voltage Drop [Vpk]	1.7
Max. Turn-on Time	10.0mS
Max. Turn-off Time	40.0mS
Max. I ² t for fusing (8.3mS) [A ² sec]	6000
Max. Off-State Leakage Current [mArms]	10
Power Factor (Min.) with Max. Load	0.5
INPUT SPECIFICATIONS	
Control Voltage Range [Vrms]	90-280
Max. Turn-on Voltage [Vrms]	90
Min. Turn-off Voltage [Vrms]	10
Nominal Input Impedance [Ohms]	60K
Typical Input Current	4mA @ 240Vrms

Blok diagram eksperimen

Blok diagram kendali catu daya *puller* menggunakan modul LPC-90HAN, Super PLC

Fx2424 dan komputer sebagai pengendali catu daya *puller* sumber ion ditunjukkan pada Gambar 7.

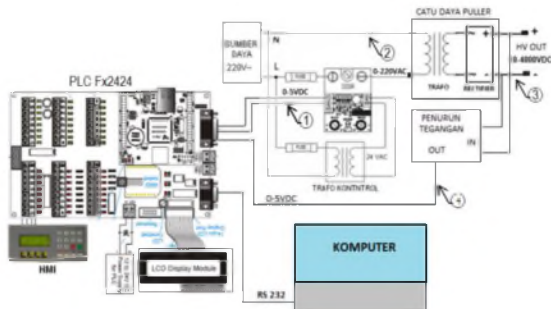


Gambar 7. Blok diagram sistem kendali catu daya *puller* sumber ion.

Keluaran DAC berupa tegangan 0-5 VDC digunakan sebagai sinyal masukan pada SCR LPC-90HAN. Keluaran LPC-90HAN dihubungkan ke bagian primer trafo catu daya *puller* sumber ion. Pengaturan nilai parameter operasi (*setting demand*) dilakukan lewat tombol PLC dan komputer.

Skema rangkaian dan pengukuran parameter operasi.

Untuk melakukan pengukuran parameter operasi pada kendali catu daya *puller* sumber ion diperlukan untai rangkaian dan tataletak alat ukur listrik. Meter pengukur tegangan menggunakan DVM SANWA PC 5000. Skema pengukuran parameter operasi ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema rangkaian kendali catu daya *puller* sumber ion

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konstruksi SIK catu daya *puller*

Konstruksi SIK catu daya *puller* terdiri dari komputer, PLC-Fx2424 dan pengendali daya SCR tipe LPC-90HAN ditampilkan pada Gambar 9.



(a). Perangkat percobaan

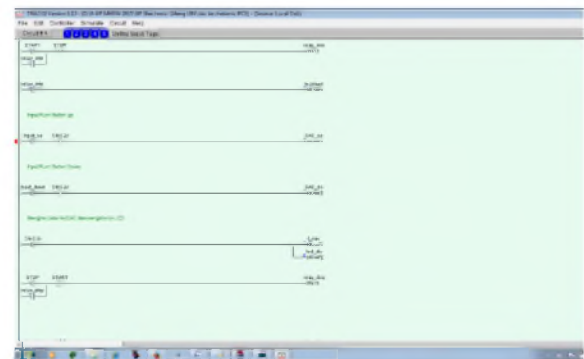


(b). Setup percobaan catu daya *puller*

Gambar 9. Konstruksi setup eksperimen kendali catu daya *puller* sumber ion.

Implementasi Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak dibuat terdiri dari program LADDER pada *Internet Trilogi Version 6.1* [12] dan LabVIEW. Program LADDER berfungsi mengendalikan naik dan turun tegangan keluaran DAC, sedang program LabVIEW berfungsi mengakuisisi dan monitoring sinyal parameter. Setelah selesai dibuat program LADDER, selanjutnya di *transfer* ke PLC dan diuji fungsi secara simulasi. Setelah program bekerja benar sesuai algoritma, selanjutnya ke modul LPC-90HAN dihubungkan ke masukan trafo catu daya *puller*. Setelah semuanya terangkai dengan benar, dapat dimulai eksperimen dengan menghubungkan PLC ke komputer melalui koneksi RS-232 to USB. Keluaran DAC berupa tegangan dari 0 – 5 VDC selanjutnya dihubungkan ke masukan LPC-90HAN. Pengujian dilakukan dengan menekan tombol pada panel layar komputer. Pengukuran yang dilakukan meliputi, nomer kanal (*step*), keluaran DAC (masukan SCR LPC-90HAN), masukan dan keluaran catu daya tegangan *puller*. Diagram *Ladder* kendali DAC ditampilkan pada Gambar10.



Gambar 10. Diagram *Ladder* kendali DAC

Tampilan data tegangan catu daya *puller* pada LabVIEW

Perangkat ini digunakan sebagai *user interface* untuk memberikan perintah atau kendali dari manusia kepada komputer berupa masukan nominal besaran tegangan yang akan dijalankan oleh Super PLC.

Tampilan *user interface setup* percobaan kendali catu daya *puller* menggunakan LabVIEW ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Tampilan *user interface* kendali catu daya *puller*

Hubungan *input* dan *output* catu daya *puller*

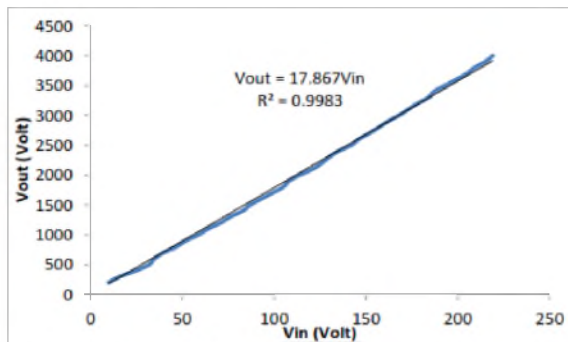
Catu daya *puller* pada perangkat uji sumber ion siklotron berupa transformator berjenis *step up* yang memiliki karakteristik sebagai berikut:

Tegangan masukan : 0 - 220 VAC

Tegangan keluaran : 0 - 4000 VDC

Arus keluaran : 10 mA

Berdasarkan karakteristik tersebut, maka catu daya *puller* dapat mengeluarkan nilai tegangan maksimum yaitu 4000 VDC pada saat pada posisi tegangan *input* 220VAC. Hasil uji menunjukkan hubungan nilai tegangan *input* akan sebanding dengan tegangan *output*, dan diperoleh persamaan $V_{out} = 17,867.V_{in}$ dengan $R^2 = 0,9983$, seperti ditampilkan pada Gambar 12.

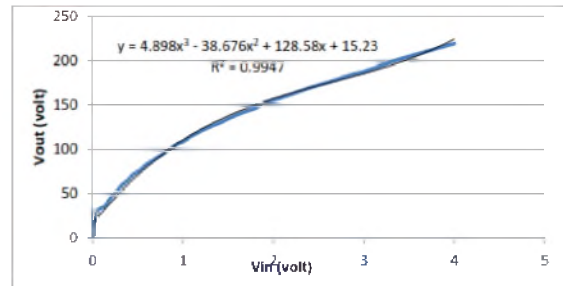


Gambar 12. Hubungan tegangan masukan vs keluaran catu daya *puller*.

Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh terdapat kolerasi hubungan antara *input* dan *output* terjadi proporsionalitas dan linieritas. Data tersebut dijadikan referensi untuk karakterisasi modul SSR.

Hubungan *input* dan *output* SCR *phase angle controller*

Berdasarkan percobaan diperoleh hubungan tegangan *input-output* modul SCR seperti ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Kurva masukan vs keluaran SCR LPC-90HAN

Dari Gambar 13 diperoleh persamaan $y = 4,898x^3 - 38,676x^2 + 128,58x + 15,23$ dengan $R^2 = 0,9947$. Hasil uji menunjukkan terjadi proporsionalitas tegangan *output* dan *input*-nya tetapi tidak linier sempurna. Berdasarkan karakteristik tersebut, maka akan digunakan metode *lookup table* dalam pembuatan program DAC pada Super PLC Fx2424.

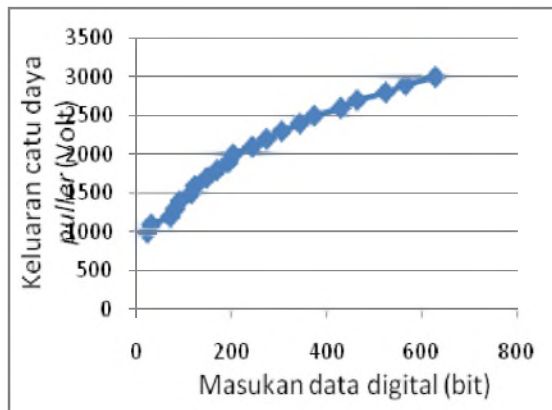
Hasil uji fungsi sistem instrumentasi dan kendali perangkat catu daya *puller*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui hasil kerja dari perangkat SIK catu daya *puller* sumber ion siklotron. Catu daya *puller* sudah dapat diatur melalui layar panel komputer menggunakan LabVIEW, kemudian akan dieksekusi oleh Super PLC Fx2424.

Tegangan keluaran SCR LPC akan mengalami kenaikan atau penurunan. Hal itu akan mengakibatkan nilai tegangan pada input dan output pada catu daya *puller* akan naik atau turun, sesuai perintah yang diberikan pada program LabVIEW. Super PLC bekerja pada tegangan digital dengan tegangan operasional 0-5 volt, akan dikonversi ke dalam bentuk digital 0 sampai 4095 *bit*. Pada konversi ini terdapat beberapa kendala terutama pada saat pembulatan nilai pecahan, tegangan digital tidak dapat beroperasi pada angka-angka desimal, sehingga akan terjadi pembulatan nilai yang kurang tepat yang akan berdampak pada ketelitian pada program LabVIEW.

Untuk meminimalisir kesalahan, maka dengan mengatur *step* tegangan dalam milivolt. Hasil percobaan hubungan keluaran tegangan catu daya *puller* terhadap masukan data digital ditunjukkan pada Gambar 13.

Dari kurva pengujian menunjukkan bahwa dari tiap masukan *step* data digital menghasilkan tegangan keluaran pada catu daya *puller* dan terjadi linieritas dan proporsionalitas terhadap kenaikan masukan *step* data digital. Pada percobaan keluaran tegangan *puller* dimulai dari 1000 V, karena untuk dibawah tegangan tersebut keluaran tidak stabil, hal ini karena keluaran DAC PLC relatif kecil sehingga belum mampu membuat kondisi SCR konduksi (*on*).



Gambar13. Hubungan keluaran tegangan catu daya *puller* terhadap perintah masukan data digital.

Percobaan dilakukan sampai pada tegangan keluaran *puller* mencapai 3000 VDC pada angka masukan digital 628. Masukan angka digital masih dapat dinaikkan lagi tetapi karena keterbatasan fasilitas perangkat uji, maka tegangan keluaran catu daya hanya sampai 3000 VDC.

Dari hasil uji yang telah dilakukan secara keseluruhan menunjukkan bahwa eksperimen kendali catu daya *puller* pada perangkat uji sumber ion dapat bekerja baik dan SCR *phase angle control* dapat diimplementasikan sebagai pengganti *variac* dalam pengaturan catu daya *puller*.

KESIMPULAN

Telah dilakukan *set up* eksperimen kendali catu daya *puller* pada perangkat uji sumber ion menggunakan PLC Fx2424 dan SCR tipe LPC-90HAN. Hasil percobaan diperoleh terdapat kolerasi hubungan antara *input* dan *output* pada catu daya *puller* terjadi proporsionalitas dan linieritas yang cukup baik. Sedang hasil uji SCR LPC-90HAN menunjukkan terjadi proporsionalitas tegangan *output* dan *input* nya tetapi tidak linier. Hasil uji pemrograman pengaturan dimulai dengan data masukan digital 24 yang menghasilkan tegangan keluaran catu daya *puller* adalah 1000 VDC. Sedang pada data masukan digital 628 menghasilkan tegangan keluaran catu daya *puller* 3000 VDC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi proporsionalitas kenaikan tegangan keluaran catu daya *puller* terhadap tiap kenaikan masukan data.

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan secara keseluruhan menunjukkan bahwa eksperimen kendali catu daya *puller* pada perangkat uji sumber ion dapat bekerja baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Dr. Susilo Widodo selaku pemegang kuasa anggaran PSTA, Taufik, S.Si, M.Sc selaku pemegang kegiatan siklotron, serta Bapak Untung Margono, Bapak Sunarto dan Bapak Agus Wijayanto serta Mas Nandang yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rovey J.L., *Design Parameter Investigation of a Cold Cathode Penning Ion Source for General Laboratory Applications*, Journal of Plasma Science and Technology, 2008.
2. Silakhuudin, dkk, *Penentuan Parameter Komponen Perangkat Uji Sumber Ion Siklotron*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, ISSN 1411-1349, Vol 14, PTAPB-BATAN, 2012.
3. Hardika, P., dkk, *Rancang Bangun Sistem Kendali Generator LFG40 Untuk Sistem Pembangkit Plasma Otomatis Menggunakan LabVIEW 7.1*, Physic Student Journal, 2014.
4. Indrati, T., dkk, *Uji Coba Tungku 1000 °C Dengan Sistem Pengumpan Belt Untuk Produksi ZrO₂ Dari Zr(OH)₄*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, ISSN 0216-3128, PTAPB-BATAN, 2012.
5. Nugroho, I.B., dkk, *Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) Sumber tegangan Tinggi DC Untuk Proses Nitridasi Plasma Menggunakan Variac*, Indonesia Journal of Electronics and Instrumentation Systems, 1(1), 2011
6. Shobari, I., dkk, *Modifikasi Surveymeter Gamma Dosimeter 3007A Untuk Pemantauan Melalui Ethernet Dengan PLC T100MD Series*, JFN, 4(2), 2010.
7. Susilo, A.N., dkk, *Komunikasi Data pada Sistem Instrumentasi dan Kendali Proses Nitridasi Plasma*, Indonesia Journal of Electronics and Instrumentation Systems, 1(1), 2011.
8. Nurwendo, A.P., dkk, *Pembuatan Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) Kevakuman dan Sistem Pewaktu Proses Nitridasi Plasma Menggunakan Super PLC T100MD1616+*, Indonesia Journal of Electronics and Instrumentation Systems, 1(2), 2011.
9. Fx2424 PLC Installation, *Guide*, Triangle Research International, Singapore, (2006).
10. Andi Hasad, *Operasi dan aplikasi SCR*, <http://andihasad.wordpress.com/2011/12/04/silicon-controlled-rectifier/>, diunduh 15 Juli 2013.



11. LPC USER MANUAL, *SSR intelligent phase angle control module*, tipe LPC-90HAN.
12. Internet Trilogi Version 6.1, *Programmer's Reference*, Triangle Research International, Singapore, 2006.

TANYA JAWAB

Triyono

- Mohon penjelasan mengenai prinsip dasar perbedaan antara SCR LPC-90 HAM dan SCR LPC-90 HAD

Saminto

- Kedua SCR tersebut mempunyai spek yang sama, yaitu kemampuan arus beban maksimal 70 Ampere dan tegangan operasi dari 200 VAC sampai 440 VAC.