

Rancangan Instrumen Penentu Muatan Elektron dari Karakteristik Dioda p-n Berbasis PC Sebagai Alat Bantu Pembelajaran Fisika Kompetensi Analisis Grafik *Real Time*

Nanang Suwondo

Pendidikan Fisika Universitas Ahmad Dahlan

Kampus III UAD, Jl. Prof. Soepomo, Janturan, Yogyakarta

Email: nang_sw@yahoo.com

Abstrak

Pemanfaatan PC dalam eksperimen fisika memberi peluang data diakuisisi dan dianalisis *real time* sehingga sebagian besar aktifitas peserta didik berada pada ranah kognitif. Konstruksi sederhana rangkaian karakteristik dioda sambungan p-n memungkinkan pencatatan dan pengukuran tegangan dioda dilakukan dengan *interface* DAC0808 dan ADC0809, serta pengukuran temperatur dioda dengan sensor suhu LM35. Nilai muatan q ditentukan dengan regresi linier data terkumpul berdasarkan manipulasi persamaan karakteristik dioda. Penelitian dilakukan berbasis prosesor P233 MMX dengan *software* Delphi 5 sebagai pengendali *interface* dan analisis data. Diperoleh nilai q sebesar $1,49 \times 10^{-19}$ C, dan R^2 sebesar 0,998. Dari hasil dan tampilan, sistem yang dirancang dapat dipakai untuk alat bantu ajar metode *real time physics*. Disarankan penelitian lanjutan dilakukan memakai konverter D/A dan A/D 12-bit agar diperoleh hasil yang lebih presisi.

Kata kunci: Muatan elektron, karakteristik dioda p-n, *interface*, regresi linier, kompetensi analisis grafik *real time*

PENDAHULUAN

Pembelajaran fisika tradisional sejauh ini amat menekankan kehadiran mahasiswa dalam perkuliahan, membaca buku dan menyelesaikan soal *textbook*. Namun metoda ini dianggap kurang berhasil karena pengetahuan konseptual peserta didik tak banyak berkembang. Mereka yang mendapat nilai bagus dalam soal-soal kuantitatif ternyata gugur dalam tes konsep dalam bentuk analisis grafik. Gejala semacam ini terekam antara lain pada hasil penelitian tentang kemampuan interpretasi grafik kinematika mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika UAD (Ishafit dan Agustiansyah, 2002).

Sebagai antisipasi, saat ini sejumlah metode pembelajaran fisika dengan pendekatan konstruktif telah dikembangkan. Misalnya *Physics by Inquiry*, *Workshop*

Physics (WP), *Real Time Physics* (RTP), atau *Interactive Lecture Demonstration* (ILD). Riset menunjukkan adanya peningkatan hasil pembelajaran dengan metode-metode tersebut (Wittmann dan Breen, 2000). Metode-metode baru ini mengadaptasi sistem pembelajaran *real time* dengan *Microcomputer-based Laboratory* (MBL) *tools* dan *video analysis tools*. MBL *tools* terdiri dari perangkat eksperimen berbasis PC dan lembar kerja siswa (LKS). Aktifitas berbasis MBL berupa pengendalian *probe* dan sensor serta pengukuran berbagai gejala fisik menggunakan mikrokomputer (Riche dan Dawe, 2003). Pemakaian piranti MBL akan memandu latihan penemuan karena tayangan data dan grafik *real time* memungkinkan lebih banyak waktu untuk proses pembelajaran kognitif (Hamalainen, 1998). Peserta didik lebih ditekankan untuk melakukan hipotesis atau prediksi pra-eksperimen, mengamati dan mendiskusikan data dan grafik *real time* yang diperoleh sesuai jalannya eksperimen, mengajukan atau menjawab pertanyaan pembimbing, melakukan analisis pasca eksperimen dan menarik kesimpulan. Dengan demikian abstraksi dapat dilakukan cepat dan peserta didik akan mengkonstruksi sendiri pengetahuan mereka. Jadi dengan fasilitas MBL, para peserta didik dapat dikondisikan agar berperilaku seperti *novice researchers* (Perez dan Carrascosa, 1994).

Beberapa contoh perangkat MBL yang telah digunakan dalam pembelajaran fisika misalnya revitalisasi mesin Atwood (Trumper dan Gelbman, 2000), *compound pendulum* (Ocaya, 2000), investigasi induksi elektromagnetik (Trumper dan Gelbman, 2000), eksperimen penentuan panas jenis zat (Layman dan Krajcik, 1994). Ada pula pemakaian *software* MBL di Indonesia untuk pembelajaran konsep-konsep kinematika menggunakan analisis grafik yang cukup berhasil (Widjaja, 2002).

Topik lain yang juga menarik untuk dikaji sebagai piranti MBL adalah eksperimen penentuan muatan elektron q . Pada eksperimen ini peserta didik dimungkinkan untuk memprediksi beberapa sifat konfigurasi semikonduktor jenis p dan n, misalnya grafik karakteristik arus-tegangan (I-V), dengan mendiskusikan model analitisnya kemudian membandingkannya dengan analisis grafik hasil pengamatan. Nilai q ditentukan dengan analisis regresi linier setelah variabel-variabelnya dimanipulasi terlebih dahulu. Seperti diketahui, regresi linier banyak digunakan dalam analisis data karena sederhana. Keterampilan ini akan memberikan penguasaan kompetensi analisis grafik linier dengan metode regresi.

Piranti semikonduktor yang dipakai adalah piranti semikonduktor sambungan p-n, misalnya dioda perata. Bila akan dilakukan eksperimen berbasis MBL, *set-up* eksperimen hanya memerlukan konverter A/D-D/A dan sebuah PC.

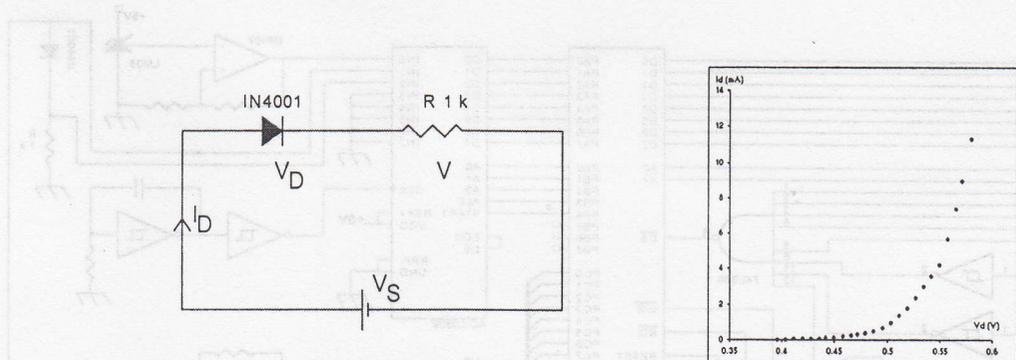
Alur pemikiran di atas memberikan ide untuk merancang instrumen penentuan muatan elektron dari data karakteristik dioda p-n berbasis PC. Hasilnya diinginkan dapat digunakan untuk perangkat praktikum akuisisi data maupun fisika modern atau semacamnya bagi mahasiswa pendidikan fisika.

DASAR TEORI

Watak arus tegangan pada daerah sambungan semikonduktor jenis p dan semikonduktor jenis n dapat digambarkan dari model analitis hubungan arus dan tegangan (I-V) berikut (Rio dan Iida, 1981)

$$I = I_S (e^{qV/kT} - 1) \quad (1)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa arus I pada sambungan p-n ditentukan oleh tegangan sambungan V dan suhu sambungan T . Sedangkan I_S adalah arus mundur jenuh (*reverse saturation current*) yaitu arus saat sambungan diberi *reverse bias*. Komponen elektronika yang dibangun berdasarkan sambungan p-n yang paling sederhana adalah dioda sambungan p-n. Karakterisasi dan hasilnya tampak seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian dan karakteristik dioda p-n

Untuk konstruksi gambar 1, persamaan (1) akan menjadi

$$I_D = I_S (e^{qV_D/kT} - 1) \quad (2)$$

Manipulasi persamaan (2) dilakukan dengan langkah bahwa jika suku dalam kurung persamaan (2) dapat dihitung untuk suhu ruang 300 K dan tegangan operasional V_D dioda silikon 0,6 volt, serta nilai baku muatan elektron q dan konstanta Boltzman k , akan memberikan $e^{qV_D/kT} \gg 1$. Sehingga persamaan (2) dapat didekati dengan

$$I_D \approx I_S e^{qV_D/kT} \quad (3)$$

Bila rangkaian dioda yang digunakan adalah seperti gambar 2, maka arus I_D dapat ditentukan

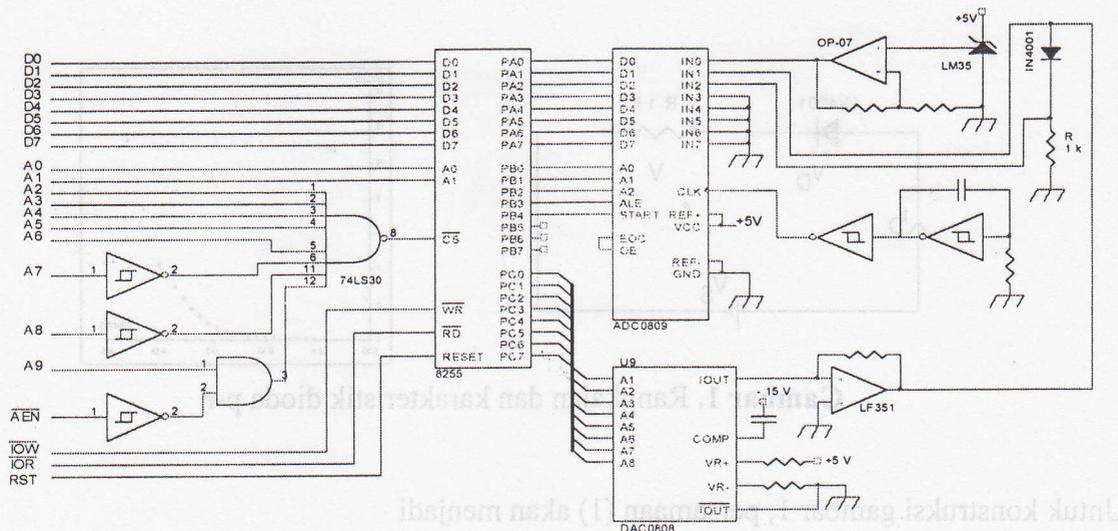
$$I_D = V/R \quad (4)$$

$$V/R = I_S e^{qV_D/kT}$$

$$\ln(V) = \ln(I_S R) + qV_D/kT \quad (5)$$

Nilai I_S relatif konstan pada tegangan operasional dioda, memungkinkan hubungan linier antara $\ln(V)$ terhadap V_D bila selama pengamatan **suhu dioda konstan**. Jadi dengan melakukan pengukuran V dan V_D serta T , nilai q akan dapat ditentukan dengan regresi linier antara $\ln(V)$ terhadap V_D . Tugas pengukuran ini dilakukan oleh konverter A/D. V_S adalah sumber tegangan variabel untuk memberikan beragam tegangan operasi dioda. Operasi tersebut dilakukan dengan mengatur tegangan lewat konverter D/A.

Kebutuhan pengaturan maupun pengukuran tegangan dan suhu dapat diimplementasikan dengan *interface* konverter D/A dan A/D. Rancangannya adalah seperti gambar 2.



Gambar 2. Rancangan *interface* konverter D/A dan A/D

Driver kedua konverter adalah PPI8255 dengan *address* \$27C s.d. \$27F. Sesuai fungsinya, portA sebagai saluran masukan sedangkan portB dan portC untuk saluran keluaran, sehingga *control word* untuk portD (\$27F) adalah \$90. Saluran analog ADC0809 hanya difungsikan 3 buah; saluran 0 untuk membaca data suhu, saluran 1 untuk membaca tegangan catu (V_S) dari keluaran DAC0808, dan saluran 2 untuk membaca tegangan resistor (V). Tegangan dioda (V_D) adalah selisih V_S dan V . Pemilihan saluran ditentukan dengan mengatur kombinasi A0, A1 dan A2. Contoh program Delphi 5 untuk pengiriman *control word* dan konversi

```

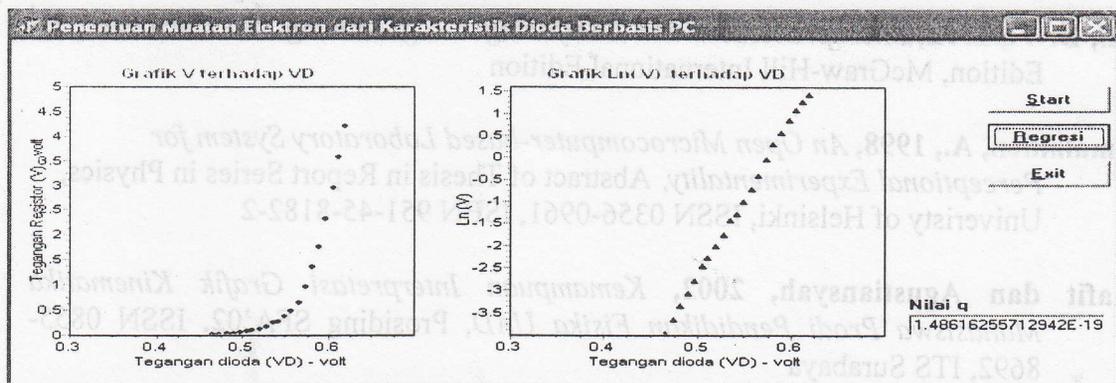
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin asm {cpntrol word ke portD}
    mov dx,$27f;mov al,$90;out dx,al;end
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
label ulang;var nilai:byte;
begin asm {perintah konversi dan baca dari saluran nol}
    mov dx,$27d;mov al,0;out dx,al;mov al,$08;out dx,al;
    mov al,16;out dx,al;mov al,0;out dx,al;mov ecx,70000;
    ulang:loop ulang;mov dx,$27c;in al,dx;mov nilai,al;end

```

Suhu dioda dibaca dari sensor suhu presisi LM35 yang memiliki kepekaan $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ (Hall, 1992). Karena konverter A/D 8-bit hanya mempunyai kepekaan sekitar $19,3 \text{ mV/step}$ konversi, maka tegangan keluaran LM35 perlu dikuatkan 2 kali agar tiap 1°C perubahan suhu transistor dapat diukur oleh ADC0809.

HASIL PENELITIAN

Tampilan data yang diperoleh tampak seperti gambar 3 di bawah ini. Bagian kiri adalah grafik tegangan resistor (V) terhadap tegangan dioda (V_D), sedangkan bagian kanan adalah grafik untuk regresi linier.



Gambar 3. Tayangan hasil penelitian

Tegangan dioda dibatasi sekitar 0,6 volt agar arus tak terlalu besar dan suhunya stabil. Diperoleh suhu dioda selama pengambilan data adalah 29 °C. Dengan memasukkan nilai baku konstanta Boltzman $k = 1.380622E-23$ J/K (Sze, 1981), diperoleh q $1,486 \times 10^{-19}$ C dan R^2 0,998. Nilai q yang diperoleh masih jauh dari nilai bakunya $1,602 \times 10^{-19}$ C (Sze, 1981), berselisih 7,2 %. Penyebabnya antara lain ketelitian konverter D/A dan A/D yang berkisar 19,3 mV/step konversi, serta kualitas dioda. Bila digunakan konverter A/D dan D/A 12-bit dengan ketelitian 1 mV/step konversi, data suhu akan dapat dibaca dengan ketelitian 0,1 °C serta perubahan tegangan dioda dapat lebih terukur dengan teliti.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa muatan elektron dapat ditentukan dengan rancangan yang telah dibuat, namun belum cukup mendekati nilai baku karena berselisih 7,2%. Meski demikian bentuk grafik karakteristik yang diperoleh mirip grafik teoritis, oleh sebab itu sistem ini, dengan batasan-batasannya, dapat dipakai sebagai alat bantu pembelajaran fisika untuk kompetensi analisis grafik *real time*, atau sebagai instrumen praktikum akuisisi data maupun fisika modern.

Disarankan digunakan dioda p-n kualitas industri atau militer serta konverter A/D dan D/A 12-bit agar ketelitian ukur dan hasil menjadi lebih baik. Selain itu metode analisis data masih dimungkinkan untuk diperbaiki.

DAFTAR PUSTAKA

- Hall, D. V., 1992, *Microprocessors and Interfacing: Programming and Hardware*, 2nd Edition, McGraw-Hill International Edition
- Hamalainen, A., 1998, *An Open Microcomputer-based Laboratory System for Perceptual Experimentality*, Abstract of Thesis in Report Series in Physics, Univeristy of Helsinki, ISSN 0356-0961, ISBN 951-45-8182-2
- Ishafit dan Agustiansyah, 2002, *Kemampuan Interpretasi Grafik Kinematika Mahasiswa Prodi Pendidikan Fisika UAD*, Prosiding SFA'02, ISSN 0855-8692, ITS Surabaya

- Layman, J. W., dan J. S. Krajcik, 1994, *The Microcomputer and Practical Work in Sciences Laboratories*,
<http://www.physics.umd.edu/rgroups/ripe/papers/laykra.html>
- Ocaya, R. O., 2000, *A Simple Computer Interface to time Relatively Slow Physical Events*, Phys. Educ. 35(4) pp. 267-73
- Perez, D.G., dan J. Carrascosa-Allis, 1994, *Bringing Pupil's Learning Closer to A Scientific Construction of Knowledge: A Permanent Feature in Innovations in Science Teaching*, Sci. Educ. Vol. 78 pp. 301-15
- Riche, B., dan S. Dawe, 2002, *Using Microcomputer Based Labs and Simulations in High School Science*,
www.bishops.ntc.nf.ca/rliche/ed6620/microcomputer.html
- Rio, Ir. S. R., dan M. Iida, 1980, *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, 1980
- Sze, S.M., 1981, *Physics of Semiconductor Devices 2nd Edition*, Wiley Eastern Limited, New Delhi, 1981
- Trumper, R., dan M. Gelbman, 2000, *A Computer-based Revitalization of Atwood's Machine*, Phys. Educ. 35(5) pp. 354-58.
- Trumper, R., dan M. Gelbman, 2000, *Investigating Electromagnetic Induction Through A Microcomputer-based Laboratory*, Phys. Educ. 35(2) pp. 90-5
- Widjaja, Y. B., 2002, *How Realistic Approached and Microcomputer-Based Laboratory Supported Lesson Work in Indonesian Secondary School Classroom*, Thesis of Master of Science, Amstel Institute Universiteit Van Amsterdam
- Wittmann, M.C., dan C. Breen, 2000, *Intern Report for Real Time Physics and Interactive Lecture Demonstration Dissemination Project*, Evaluation Report 200 FIPSE Meeting