

Rancang Bangun Pelacak Kurva Transistor Berbasis STM32 dan Labview

Leonardo Kamajaya¹, Ari Murtono², dan Achmad Arif Bryantono³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No.9, Kota Malang, Jawa Timur 65141
e-mail: leonardo42@polinema.ac.id

Abstrak— Kurva karakteristik transistor memiliki informasi tentang hubungan antara tegangan collector-emitter dan arus collector terhadap arus basis, data ini dapat digunakan untuk menentukan spesifikasi penguatan transistor, area saturasi, dan area cutoff. Pengukuran kurva karakteristik transistor secara manual pada laboratorium membutuhkan waktu yang relatif lama dikarenakan analisis harus mengatur beberapa instrumen secara bersamaan sehingga dibutuhkan sebuah instrumen khusus untuk melakukan pengukuran tersebut secara otomatis dengan parameter uji yang dapat diatur dan visualisasi kurva karakteristik hasil pengujian. Pada penelitian ini akan membahas tentang bagaimana cara membuat curve tracer yang terdiri dari SMU (Source Measure Unit) dengan mikrokontroler dengan arsitektur ARM agar dapat melakukan kontrol keluaran dan akuisi data dengan cepat. Antarmuka pada curve tracer yang dibuat menggunakan aplikasi komputer LabVIEW yang digunakan untuk mengatur batas-batas parameter uji serta menampilkan visualisasi kurva hasil pengujian curve tracer. Dari source measure unit yang telah dibuat, didapatkan hasil performa akurasi keluaran tegangan sebesar 0.01% dan keluaran arus sebesar 0.35%. Sedangkan akurasi kurva karakteristik transistor dari curve tracer yang dibandingkan dengan curve tracer menggunakan osiloskop didapatkan hasil sebesar 1.54%.

Kata kunci: Akuisisi data, Karakterisasi transistor, Kurva V-I, Pengukuran otomatis, Regulator digital.

Abstract— The transistor characteristic curve has information about the relationship between the collector-emitter voltage and the collector current to the base current, this data can be used to determine the specifications of the transistor gain, saturation area, and cutoff area. Manually measuring the transistor characteristic curve in the laboratory takes a relatively long time because the analyst must set several instruments simultaneously so that a special instrument is needed to carry out these measurements automatically with adjustable test parameters and visualization of the characteristic curve of the test results. In this study, we will discuss how to make a curve tracer consisting of SMU (Source Measure Unit) with a microcontroller with ARM architecture in order to control output and data acquisition quickly. The interface on the curve tracer is made using the LabVIEW computer application which is used to set the limits of the test parameters and display the visualization of the curve tracer test results. From the source measure unit that has been made, the results of the output voltage accuracy are 0.01% and current output is 0.35%. Meanwhile, the accuracy of the transistor characteristic curve from the curve tracer which is compared with the curve tracer using an oscilloscope is 1.54%.

Keywords: Automatic measurement, Data acquisition, Transistor characterization, V-I curve, Digital regulator.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi instrumen pengukuran telah dimulai sejak dahulu kala. Mulai dari perkembangan galvanometer, amperemeter, hingga multimeter. Perkembangan pesat teknologi instrumen pengukuran dilandasi akan kebutuhan insinyur untuk membantu pengembangan teknologi elektronika dari peralatan rumah tangga hingga sistem kendali yang kompleks.

Salah satu instrumen khusus yang dapat melakukan pengukuran sekaligus penyuplai arus atau tegangan secara bersamaan adalah SMU (Source Measure Unit). SMU dapat digunakan sebagai catu daya dan juga alat ukur pada saat yang bersamaan, sehingga dapat digunakan sebagai instrumen untuk menganalisa sebuah komponen atau rangkaian.

Curve tracer tersusun dari tiga buah SMU yang terhubung pada satu kontroler yang dapat mengatur arus dan tegangan sekaligus menyimpan data pengukuran yang diperoleh masing-masing SMU [1]–[3]. Instrumen ini dapat digunakan sebagai instrumen laboratorium untuk menganalisis karakteristik kurva V-I pada transistor BJT [4], [5].

II. STUDI PUSTAKA

A. Source Measure Unit (SMU)

Source measure unit adalah instrumen yang dapat mensuplai tegangan atau arus dan melakukan pengukuran secara simultan dengan akurat. Alat ini menggabungkan fungsi dari multimeter digital, power supply, dan beban

elektronik menjadi satu alat yang saling berhubungan [6], [7].

B. Bipolar Junction Transistor (BJT)

Transistor adalah komponen dengan tiga terminal, dimana arus kecil yang dialirkan ke terminal base akan mengontrol aliran arus yang lebih besar antara collector dan emitter. Terdapat dua jenis transistor yaitu NPN dan PNP, dimana polaritas transistor NPN berkebalikan dengan transistor PNP [8], [9].

$$I_C = \beta \cdot I_B \quad (1)$$

Salah satu karakteristik penting transistor adalah nilai penguatan β atau biasa disebut hFE untuk DC, berdasarkan rumus (1) yaitu arus yang mengalir pada collector I_C akan lebih tinggi dibandingkan dengan arus yang diberikan pada base I_B dikarenakan adanya penguatan. Karakteristik ini dapat digunakan untuk mengetahui kinerja dari transistor tersebut sehingga dapat memberikan informasi kepada desainer rangkaian untuk memilih transistor yang sesuai.

C. Standard Commands for Programmable Interface (SCPI)

SCPI adalah bahasa yang digunakan sebagai perintah untuk mengendalikan instrumen yang memnuhi standar IEEE 488.2 agar dapat digunakan pada berbagai macam fungsi instrumen dengan perintah yang terstandarisasi. SCPI memiliki konsistensi dalam bahasa pemrograman dan perintah untuk berbagai instrumen dengan fungsi yang sama. SCPI mendefinisikan perintah yang tersedia dan spesifik untuk fungsi pengukuran seperti frekuensi atau tegangan.

III. METODE

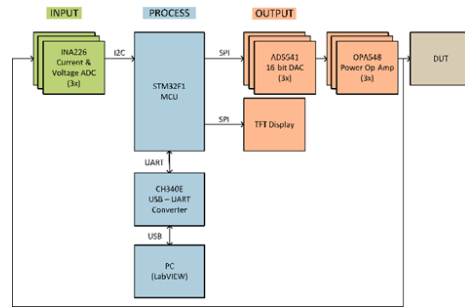
A. Perancangan Sistem

Gambar 1 menjelaskan tentang diagram blok sistem pelacak kurva transistor. Pada blok input digunakan ADC INA226 untuk mengukur tegangan dan arus keluaran dan selanjutnya digunakan sebagai umpan balik dari sistem kontrol dan akuisisi data pada mikrokontroler dengan menggunakan protokol komunikasi I2C.

Blok proses menggunakan STM32F1 sebagai sistem kontrol untuk mengatur tegangan dan arus keluaran sekaligus mengakuisisi data pengukuran tegangan dan arus dari INA226. Protokol komunikasi yang digunakan untuk transmisi data ke PC adalah UART yang melewati konverter USB-TTL CH340E agar dapat tersambung dengan PC melalui port USB (Universal Serial Bus).

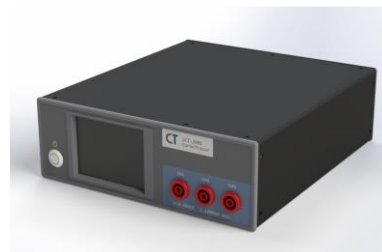
Pada blok output terdapat DAC AD5541 yang berfungsi untuk mengatur tegangan output yang dikuatkan oleh power op-amp OPA548 [10] sebelum masuk ke DUT yang dikendalikan oleh data digital dari STM32. Kemudian alat ini menggunakan TFT display sebagai tampilan tegangan dan arus pada masing-masing keluaran dan juga grafik hasil pengujian.

B. Perancangan Mekanik



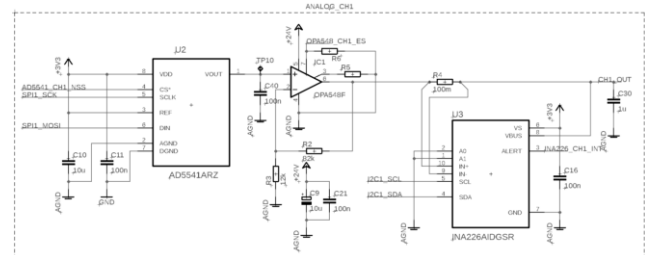
Bagian mekanik yang dibutuhkan untuk alat ini adalah kotak dengan ukuran 182 x 62 x 205 sebagai tempat pemasangan PCB power supply dan rangkaian utama dengan bagian depan pada gambar 3.23 berupa layar LCD, terminal keluaran dan tombol power tampak pada gambar 2.

C. Perancangan Elektronik



Gambar 2. Desain mekanik

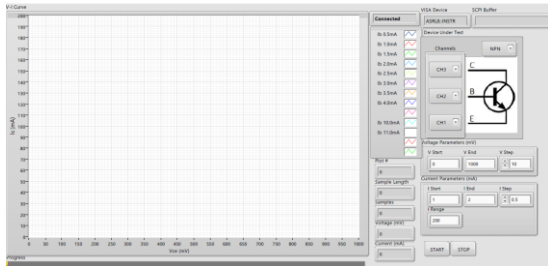
Source Measure Unit terdiri dari Digital to Analog Converter (DAC) AD5541 yang digunakan sebagai pengatur tegangan dan arus keluaran, dikarenakan jangkauan tegangan keluaran dari DAC GND (0V) hingga VREF (3.3V) maka diperlukan penguat untuk meningkatkan jangkauan tegangan keluaran hingga 24 volt. Bagian pengukuran pada rangkaian ini menggunakan sebuah Analog to Digital Converter (ADC) dan pengkondisi sinyal yang terintegrasi sehingga pengukuran arus dan tegangan dapat dilakukan hanya dengan sebuah IC dan resistor current sense, protokol komunikasi yang digunakan pada ADC ini adalah I2C [11] sehingga mudah untuk menggabungkan beberapa buah blok menjadi satu. Gambar 3 menunjukkan diagram rangkaian SMU sistem.



Gambar 3. Diagram Rangkaian SMU

D. Perancangan Interface

Akuisisi data dengan komputer digunakan agar memudahkan dalam pengolahan dan analisa data hasil pengujian, aplikasi yang digunakan adalah LabVIEW sebagai antarmuka dan pemroses data. Gambar 4 menggambarkan tentang tampilan antarmuka dan pemroses data berbasis LabVIEW



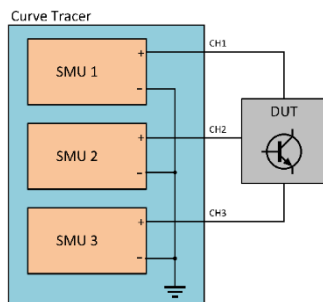
Gambar 4. Tampilan antarmuka program LabVIEW

E. Perencanaan Pengujian Komponen

Untuk mendapatkan kurva V-I pada transistor BJT konfigurasi keluaran pada setiap terminal adalah sebagai berikut:

1. Terminal base: sumber arus konstan (step).
2. Terminal collector: sumber tegangan bebas (sweep).
3. Terminal emitter: titik referensi 0 volt.

Arus pada base diatur dengan parameter uji I_B awal, arus I_C yang terukur akan ditampilkan pada grafik sumbu Y sedangkan tegangan pada V_{CE} akan diatur sesuai dengan tegangan sweep yang telah ditentukan dan ditampilkan pada grafik sumbu X. Hasil dari pengujian adalah berupa grafik I_C terhadap V_{CE} dengan beberapa step I_B yang berbeda. Diagram pengujian komponen ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram pengujian komponen

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kinerja sistem terdiri dari tiga buah pengujian, yaitu pengujian sumber tegangan, pengujian source measure unit (SMU), dan pengujian sistem secara keseluruhan dibandingkan dengan pengukuran menggunakan osiloskop.

Pada pengujian source measure unit (SMU) dihasilkan data analisa akurasi sebagai berikut.

Tabel 1. Pengujian Akurasi Tegangan

No.	Set (mV)	Terukur (mV)			Std. Dev.	% Error
		1	2	3		
1	1000	1000	999	1000	0.58	0.03
2	2000	1999	1999	1999	0.00	0.05

3	3000	3000	2999	3001	1.00	0.02
4	4000	4000	3999	4000	0.58	0.01
5	5000	4999	5000	5000	0.58	0.01
6	6000	5999	5999	6000	0.58	0.01
7	7000	7000	6999	7001	1.00	0.01
8	8000	8000	8000	8001	0.58	0.00
9	9000	9001	9000	9001	0.58	0.01
10	10000	10001	10000	10000	0.58	0.00
11	11000	11001	11003	11002	1.00	0.02
12	12000	12001	12002	12000	1.00	0.01
13	13000	13001	13001	13001	0.00	0.01
14	14000	14000	14003	14001	1.53	0.01
15	15000	15001	15002	15000	1.00	0.01
16	16000	15999	16002	16000	1.53	0.01
17	17000	17000	17003	17002	1.53	0.01
18	18000	18000	18002	18001	1.00	0.01
19	19000	19001	19002	19001	0.58	0.01
20	20000	20001	20002	20001	0.58	0.01
Rata-rata					0.79	0.01

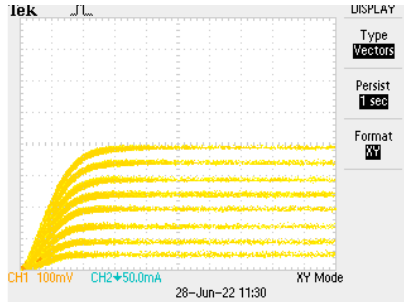
Hasil pada tabel 1 dan tabel 2 berupa pengujian akurasi tegangan dan arus antara tegangan output atau arus output yang telah dikalibrasi dengan nilai awal yang diberikan. Pada tabel 1 persentase error maksimum pada tegangan keluaran sebesar 0.05% dengan rata-rata error 0.01%, sedangkan standar deviasi maksimum sebesar 1.53mV. Akurasi yang cukup baik pada sistem ini disebabkan penggunaan ADC INA226 yang telah dilengkapi pengondisi sinyal terintegrasi.

Tabel 2. Pengujian Akurasi Arus

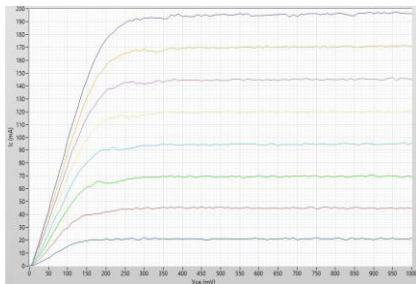
No.	Set (mA)	Terukur (mA)			Std. Dev.	%Error
		1	2	3		
1	100.0	99.7	99.7	99.6	0.06	0.33
2	200.0	199.7	199.3	199.1	0.31	0.32
3	300.0	299.4	299.1	298.7	0.35	0.31
4	400.0	399.0	398.5	397.9	0.55	0.38
5	500.0	499.3	498.2	497.7	0.82	0.32
6	600.0	599.0	597.4	597.0	1.06	0.37
7	700.0	701.7	696.8	695.9	3.12	0.43
8	800.0	797.2	794.5	795.7	1.35	0.52
9	900.0	901.9	896.4	896.9	3.04	0.32
10	1000.0	997.2	998.7	999.2	1.04	0.16
Rata-rata					1.17	0.35

Pada pengujian akurasi arus yang tampak pada tabel 2 menunjukkan error maksimum sebesar 0.52% dengan rata-rata error sebesar 0.35%, sedangkan standar deviasi maksimum sebesar 3.13 mA. Persentase error yang cenderung besar dikarenakan berubahnya nilai R_{shunt} , sehingga nilai pengukuran arus tidak akurat. Salah satu yang menyebabkan perubahan resistansi adalah daya terdistribusi pada komponen sekitar.

Pada pengujian sistem secara keseluruhan dibandingkan dengan pengukuran osiloskop digunakan 2 buah sampel transistor, transistor BJT jenis NPN (TIP41) dan transistor BJT jenis PNP (TIP42). Kurva karakteristik transistor BJT NPN TIP41 hasil pengukuran menggunakan osiloskop dan pelacak kurva transistor tampak pada gambar 6 dan gambar 7. Untuk data arus saturasi pada tegangan 1000mV ditunjukkan pada tabel 3, dengan persentase error pengukuran sebesar 1.49%.



Gambar 6. Pengukuran Osiloskop BJT TIP41

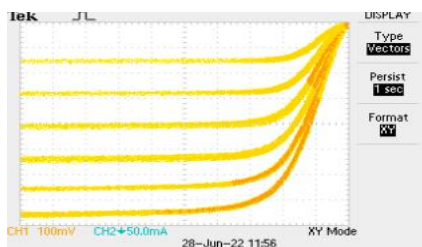


Gambar 7. Pengukuran dengan pelacak kurva transistor BJT TIP41

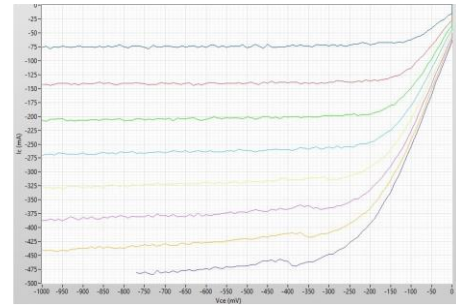
TABEL 3. PERBANDINGAN PENGUKURAN KURVA BJT TIP41

No.	Osiloskop	Pelacak kurva Transistor	% Error
1	23	22	4.35
2	45	45	0.00
3	70	69	1.43
4	97	95	2.06
5	120	121	0.83
6	142	145	2.11
7	170	171	0.59
8	195	196	0.51
Rata-rata			1.49

Kurva karakteristik transistor BJT NPN TIP42 hasil pengukuran menggunakan osiloskop dan pelacak kurva transistor tampak pada gambar 8 dan gambar 9. Untuk data arus saturasi pada tegangan -1000mV ditunjukkan pada tabel 4, dengan persentase error pengukuran sebesar 0.98%.



Gambar 8. Pengukuran Osiloskop BJT TIP42



Gambar 9. Pengukuran dengan pelacak kurva transistor BJT TIP42

Tabel 4. Perbandingan pengukuran kurva BJT TIP42

No.	Osiloskop	Pelacak kurva Transistor	% Error
1	-75	-75	0.00
2	-140	-145	3.57
3	-205	-205	0.00
4	-270	-271	0.37
5	-327	-325	0.61
6	-380	-385	1.32
7	-	-440	-
8	-	-480	-
Rata-rata			0.98

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa alat pelacak kurva transistor yang telah dibuat dapat melakukan akuisisi data dan pengukuran sesuai dengan spesifikasi arus dan tegangan pada perancangan dengan akurasi cukup baik (akurasi tegangan 0.01% dan akurasi arus 0.35%) yang dibuktikan dengan data analisis sebelumnya. Pada perbandingan pengukuran transistor BJT dengan osiloskop didapatkan akurasi sebesar 1.54%. Untuk perbaikan sistem diperlukan penambahan power op-amp dan kapasitas *heatsink*. Selain itu juga perlu ditambahkan fungsi deteksi jenis komponen atau transistor yang diukur secara otomatis

REFERENSI

- [1] E. Moreno-Garcia, "Curve tracer with a personal computer and LabView," in *14th International Conference on Electronics, Communications and Computers, 2004. CONIELECOMP 2004.*, 2004, pp. 202–207.
- [2] G. T. Nikolov, "High current source-measure unit based on low cost DAQ," *Proc. Electron.*, 2008.
- [3] A. Seyhoonzadeh, H. Chang, and K. E. Lonngren, "Inexpensive transistor curve tracer," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 58, no. 5, pp. 849–852, 1987.
- [4] J. M. Patterson, "Developing an approach to semiconductor failure analysis and curve tracer interpretation," in *16th International Reliability Physics Symposium*, 1978, pp. 93–100.
- [5] E. J. Hill, "A Simple Transistor Characteristic Curve Tracer," in *Proceedings of the Iowa Academy of Science*, 1962, vol. 69, no. 1, pp. 455–458.
- [6] A. Das, "An easy-to-fabricate source measure unit for real-time DC and time-varying characterization of multi-terminal semiconductor devices," *Eng. Res. Express*, vol. 3, no. 1, p. 15003, 2021.
- [7] R. Ortega, "New source measure unit architecture for control loop configurability," in *2012 IEEE AUTOTESTCON Proceedings*, 2012, pp. 157–160.

- [8] P. Horowitz and W. Hill, "The Art of Electronics. Third." Cambridge University Press, 2015.
- [9] M. J. Deen and F. Pascal, "Electrical characterization of semiconductor materials and devices," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 17, no. 8, pp. 549–575, 2006.
- [10] T. Instruments, "High-voltage, high-current operational amplifier." 2005.
- [11] T. Instruments, "Ina226 high-side or low-side measurement, bi-directional current and power monitor with i2c compatible interface," *INA226*, pp. 1–39, 2015.