

PERANCANGAN PELACAK KURVA KARAKTERISTIK ARUS-TEGANGAN TRANSISTOR BIPOLAR

M. Nur Sulaiman¹, Sumeh²
^{1,2}Universitas Gajayana Malang
¹nuruniga@gmail.com

Abstract - Current-voltage curves (IV) transistor needs to be known before the extraction of the model parameters can be performed. In terms of Gummel-Poon model parameters extraction, needed three important curves: 1) the output curve, 2) Gummel curves and 3) dc beta curve. Each curve can be obtained by giving a voltage or current excitation and measure voltage and current terminals of the transistor. Voltage and current excitation is changed gradually from a minimum to a maximum value limit in accordance with the rating of the transistor. Utilization of the computer is appropriate to do repetitive steps and data collection. The design proposed is a curve tracer to utilize a personal computer (PC) as the main control and data collection. Required an ISA expansion bus interface card that is capable of communicating with the measuring system and the generator voltage or current excitation. The software is designed to provide functionality to the user interface and functions of the voltage-current curve tracking in accordance with the procedures performed in the laboratory. System testing is done by giving the test terminal resistive element that measuring results can be compared with theoretical calculations. The results show that in general the system is able to track the input and output characteristics. To note that there are no significant deviations when the low-level tracking is -7.3% on the characteristics of the input and output characteristics of -34.07%.

Keywords: transistor; current-voltage curve; computer; interface; curve tracer

Abstrak - Kurva arus-tegangan (IV) transistor perlu diketahui sebelum ekstraksi parameter model dapat dilakukan. Dalam hal ekstraksi parameter-parameter model Gummel-Poon, diperlukan tiga kurva penting: 1) kurva keluaran, 2) kurva Gummel dan 3) kurva beta dc. Setiap kurva dapat diperoleh dengan cara memberi tegangan atau arus eksitasi dan mengukur tegangan dan arus terminal transistor. Tegangan dan arus eksitasi tersebut diubah secara bertahap dari batas nilai minimal hingga maksimal sesuai dengan rating transistor. Pemanfaatan komputer sangat tepat untuk melakukan langkah yang berulang dan pengumpulan data. Rancangan yang diusulkan adalah pelacak kurva dengan memanfaatkan komputer personal (PC) sebagai kendali utama serta pengumpul data. Diperlukan sebuah kartu antarmuka bus ekspansi ISA yang mampu berkomunikasi dengan sistem pengukur dan pembangkit tegangan atau arus eksitasi. Perangkat lunak dirancang untuk memberikan fungsi antarmuka dengan pengguna dan fungsi pelacakan kurva tegangan-arus sesuai dengan prosedur yang dilakukan di laboratorium. Pengujian sistem dilakukan dengan memberi elemen resistif pada terminal uji agar hasil ukur dapat dibandingkan dengan perhitungan teoritis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa secara umum sistem mampu melacak karakteristik masukan dan keluaran. Dengan catatan bahwa masih terdapat penyimpangan yang cukup mencolok ketika pelacakan level rendah yaitu -7,3 % pada karakteristik masukan dan -34,07 % pada karakteristik keluaran.

Kata kunci: transistor; kurva arus-tegangan; komputer; antarmuka; pelacak kurva

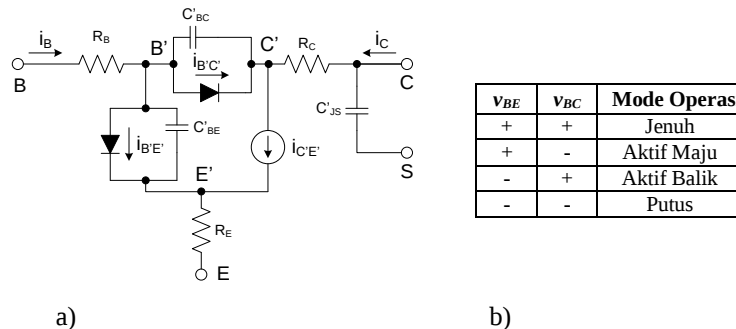
I. PENDAHULUAN

SPICE (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) adalah program simulasi rangkaian untuk analisis DC, peralihan, dan sinyal kecil. Perilaku arus-tegangan terminal BJT (*Bipolar Junction Transistor*) ditiru SPICE dengan menggunakan rangkaian listrik ekuivalen yang dikenal sebagai model Gummel-Poon. Model ini pertama kali dipublikasikan oleh Herman Gummel dan H. C. Poon dari Bell Labs pada tahun 1970 [1][2]. Persoalan muncul ketika terdapat perbedaan antara parameter model dari BJT yang digunakan dalam rancangan dan parameter model dari BJT dalam library SPICE. Hal ini terjadi dalam praktik, karena BJT diperoleh dari toko penyedia komponen yang tidak dapat menunjukkan siapa pembuatnya. Praktisi elektronika umumnya memperoleh BJT dengan cara tersebut dan hanya sedikit yang memperoleh langsung dari pembuatnya. Perbedaan tersebut menyebabkan hasil analisis dengan bantuan SPICE berbeda dengan hasil pengukuran laboratorium. Sehingga untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan spesifikasi rancangan diperlukan tahap coba-coba (*try and error*) [3].

Metode ekstraksi parameter statik dari model SPICE Gummel-Poon telah dikembangkan [4]. Metode ini perlu diwujudkan menjadi suatu sistem elektronik agar dapat diperoleh suatu fungsi ekstraksi parameter model dari BJT.

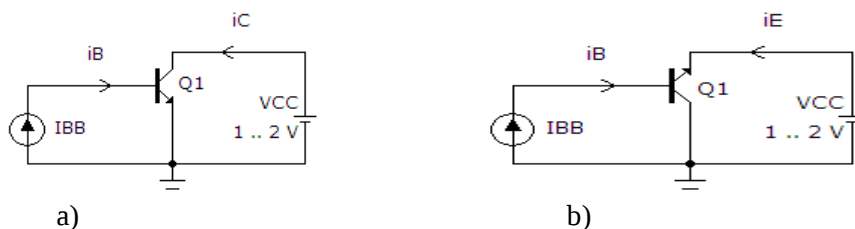
II. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan fisika BJT model Gummel dibangun dan terdiri atas dioda, sumber arus tak-bebas, resistor, dan kapasitor [4]. Rangkaian listrik ekuivalen (model Gummel-Poon) disajikan dalam Gambar 1.a. Prategangan (*bias*) yang diberikan pada terminal transistor akan menentukan modus kerja transistor. Hubungan antara polaritas tegangan terminal dengan modus kerja disajikan Gambar 1.b. Dalam hal ekstraksi parameter statik transistor pada modus aktif maju (*forward*), elemen kapasitif dianggap hubung terbuka. Karena lapisan transistor dapat dipandang simetri, ekstraksi parameter transistor untuk modus aktif balik (*reverse*) dapat diperoleh dengan cara sama tetapi polaritas tegangan terminal, v_{BE} dan v_{BC} dibalik [5][6].

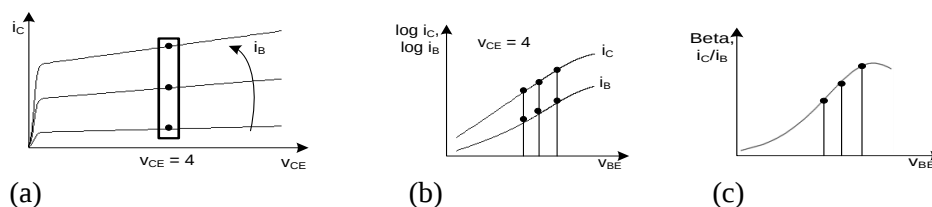


Gambar 1 a) Skema sinyal besar model Gummel Poon dari transistor bipolar npn.
b) Hubungan polaritas tegangan terminal dan mode operasi.

Ekstraksi parameter model memerlukan dua pengukuran dc: pertama kurva keluaran, $i_C(v_{CE})$ dengan i_B sebagai parameter, baik modus aktif maju dan balik. Kurva ini berguna untuk ekstraksi VAF dan VAR. Kedua kurva Gummel (*Gummel plot*), yaitu kurva arus kolektor dan basis dalam skala logarismis, $\log(i_C)$ dan $\log(i_B)$, sebagai fungsi tegangan basis-emiter, v_{BE} , dalam skala linier dengan kondisi tegangan basis-kolektor konstan, $v_{BC} = \text{konstan}$. Kurva ini berguna untuk ekstraksi NF, IS, ISE, BF, dan NE. Berdasarkan kurva Gummel, perbandingan arus i_C terhadap i_B , Beta DC, dapat diperoleh dan ini digunakan untuk ekstraksi IKF. Diagram rangkaian untuk pengukuran arus-tegangan disajikan pada Gambar 2. Sketsa kurva keluaran, kurva Gummel, dan kurva Beta disajikan dalam Gambar 3.



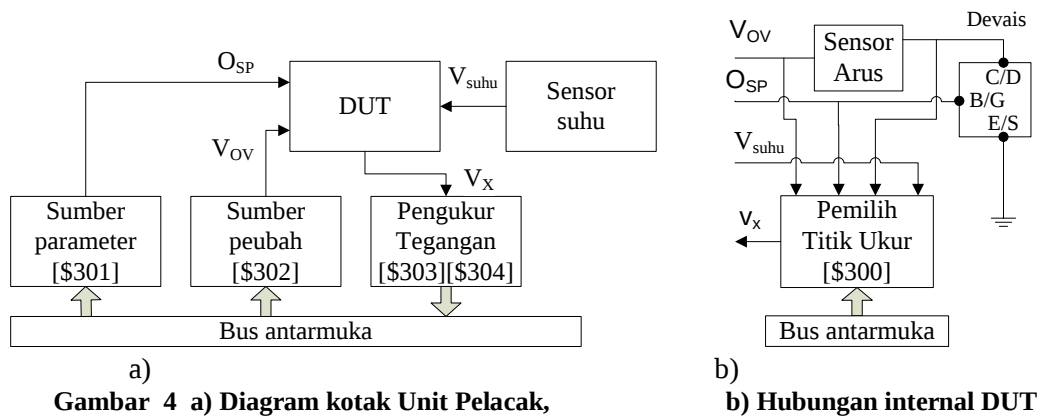
Gambar 2 Diagram rangkaian pengukuran arus-tegangan.
(a) $i_C(v_{CE})$ dengan i_B konstan untuk ekstraksi VAF.
(b) $i_C(v_{BE})$ dan $i_B(v_{BE})$ dengan v_{CE} konstan untuk ekstraksi VAR.



Gambar 3 a. Kurva keluaran, b. Kurva Gummel, c. Kurva Beta dc.

III. METODE

Sistem yang diusulkan adalah sistem elektronika yang bekerja berdasar program yang dapat disebut sebagai sistem berbasis mikroprosesor. Metoda yang digunakan adalah dengan membagi perangkat keras menjadi Unit Pelacak dan Unit Antarmuka. Selanjutnya, berdasarkan rancangan pengangkat keras, perangkat lunak disusun untuk memberikan fungsi: antarmuka dengan pemakai, pelacak kurva, pengumpul data, dan penyaji data. Permulaan rancangan dimulai dengan menentukan unit-unit fungsional dari Unit pelacak dan hubungannya, seperti disajikan dalam Gambar 4.a.



Gambar 4 a) Diagram kotak Unit Pelacak,

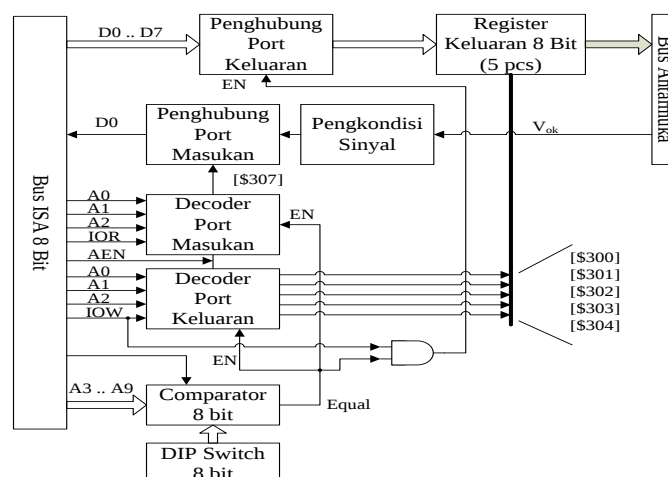
b) Hubungan internal DUT

Unit Pelacak terdiri atas sumber parameter, sumber peubah, pengukur tegangan, dan pengukur suhu. Spesifikasi yang diharapkan dalam rancangan adalah:

1. Sumber parameter mempunyai keluaran arus atau tegangan (positif atau negatif)
Keluaran arus $|O_{SP}|$: 0 ... 375 μA
Keluaran tegangan $|O_{SP}|$: 0 ... 5 V
Register keluaran pengendali sumber parameter berada di ruang alamat I/O 301H.
2. Sumber peubah mempunyai keluaran tegangan (positif atau negatif)
Range I $|VOV|$: 0 .. 2 V
Range II $|VOV|$: 0 ... 5 V
Range III $|VOV|$: 0 ... 12 V
Register keluaran pengendali sumber peubah berada di ruang alamat I/O 302h.
3. Pengukur suhu mempunyai rentang pengukuran 15 °C hingga 50°C diwujudkan dengan IC tipe LM35.
4. Pengukur tegangan mempunyai rentang pengukuran 1 volt dan 6 volt dengan polaritas positif dan negatif. Unit ini merupakan DAC yang dilengkapi dengan sebuah pembanding tegangan. Oleh karena itu pengubahan tegangan analog V_x menjadi besaran digital yang setara dilakukan dengan menyusun program yang meniru metoda *successive approximation*. Register keluaran dalam ruang alamat I/O 304H terhubung ke masukan DAC dan register masukan dalam ruang alamat I/O 307H terhubung ke keluaran pembanding tegangan.

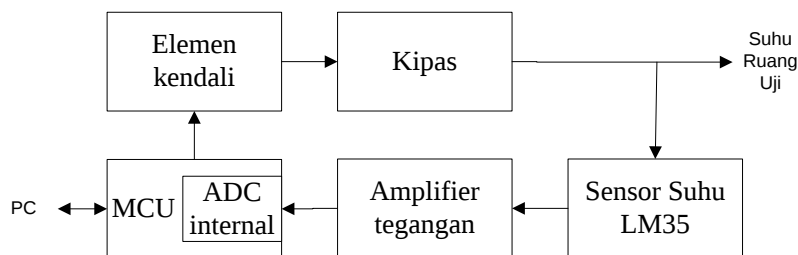
Transistor dihubungkan dengan terminal uji dalam blok DUT seperti Gambar 1.b. Sensor Arus diwujudkan dengan sebuah resistor yang diketahui nilainya. Unit pemilih titik ukur adalah sebuah IC saklar analog tipe MC14066 yang dikendalikan register keluaran dalam ruang alamat I/O 300H.

Rancangan Unit Antarmuka mengacu pada rancangan Unit Pelacak dan bus ISA 8 bit yang tersedia pada mainboard komputer personal disajikan pada Gambar 2. IC logika yang digunakan sebagai Penghubung Port adalah sebuah *tri-state logic* tipe 74HC244, 5 buah Register Keluaran menggunakan latch tipe 74HC373, Dekoder Port Masukan dan Keluaran menggunakan tipe 74HC138, Komparator menggunakan 74HC688, dan Pengkondisi Sinyal merupakan sebuah rangkaian pembalik (*inverter*).



Gambar 5 Diagram antarmuka komputer dan Unit Pelacak

Unit kendali suhu dilukiskan dalam diagram kotak seperti Gambar 7. Kendali suhu menggunakan sistem kendali otomatis dengan umpanbalik dari sensor suhu LM35. Program kendali otomatis ditanam dalam unit mikrokontroler (MCU). Kendali dilakukan dengan acuan suhu lingkungan. Unit ini dirancang untuk memberikan fungsi monitoring dan kendali terhadap suhu devais yang diuji. Waktu tanggap tidak dijadikan pertimbangan rancangan.



Gambar 7 Diagram kotak kendali suhu

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian rangkaian Sumber Parameter bertujuan untuk mengetahui ketepatan tegangan parameter. Pengujian dilakukan dengan memberi masukan logika dan mengukur keluaran rangkaian (OSP). Selanjutnya hasil pengukuran dibandingkan terhadap nilai arus dan tegangan yang diharapkan. Hasil pengukuran disajikan dalam Tabel 1 sedangkan keluaran yang direncanakan mengikuti Persamaan 3.

$$I_{OSP} = \text{data} \times 25 (\mu\text{A}) \quad \text{dan} \quad V_{OSP} = \text{data} \times 0,5 (\text{V})$$

Tampak bahwa kesalahan maksimal terjadi pada keluaran arus positif dan keluaran tegangan positif dimana data = 1. Pesentasi kesalahannya berturut-turut -2% dan -5% untuk keluaran arus dan keluaran tegangan. Besarnya penyimpangan tersebut masih dapat diterima dalam perancangan karena dalam pelacakan kurva, nilai yang digunakan sebagai parameter adalah hasil pengukuran (tegangan atau arus) keluaran Sumber Parameter.

TABEL 1
HASIL PENGUKURAN ARUS DAN TEGANGAN KELUARAN SUMBER PARAMETER

Data Masukan	Keluaran Arus				Keluaran Tegangan			
	Negatif (-□A)	Selisih(%)	Positif (□A)	Selisih(%)	Negatif (-V)	Selisih(%)	Positif (V)	Selisih(%)
0	0		0		0,005		-0,005	
1	25	0,00	24,5	-2,00	0,505	1,00	0,475	-5,00
2	50	0,00	50	0,00	1,02	2,00	1	0,00
3	75	0,00	75,5	0,67	1,52	1,33	1,5	0,00
4	100	0,00	100	0,00	2,02	1,00	2	0,00
5	125	0,00	126	0,80	2,52	0,80	2,5	0,00
6	151	0,67	152	1,33	3,03	1,00	3,015	0,50
7	177	1,14	177	1,14	3,53	0,86	3,52	0,57
8	200	0,00	200	0,00	3,99	-0,25	3,98	-0,50
9	225	0,00	225,5	0,22	4,495	-0,11	4,48	-0,44
10	251	0,40	251,5	0,60	5	0,00	5	0,00
11	276	0,36	277	0,73				
15	378	0,80	378	0,80				

Unit pengukur tegangan diuji dengan membandingkan hasil pengukuran tegangan dengan unit pengukur tegangan dan voltmeter. Hasil pengujian disajikan dalam Tabel 2.

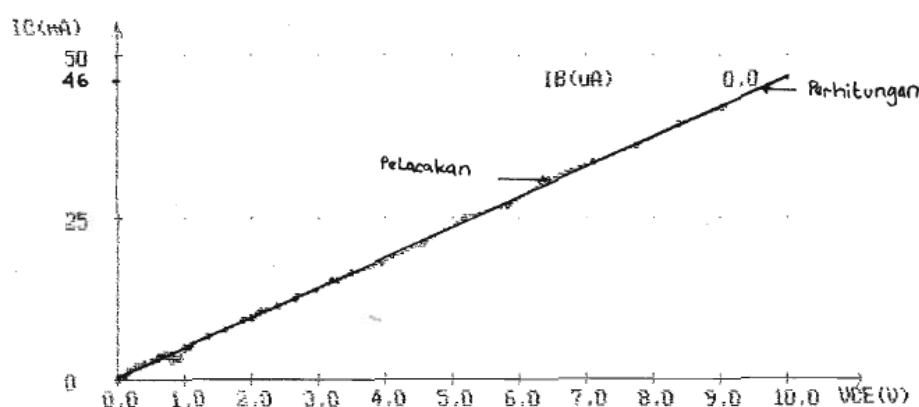
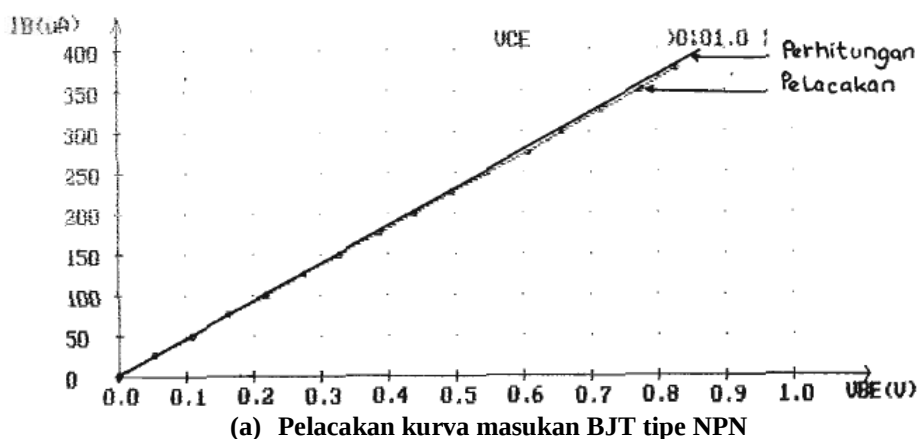
TABEL 2
HASIL PENGUKURAN TEGANGAN DENGAN VOLTMETER
DAN DENGAN RANGKAIAN PENGUKUR TEGANGAN

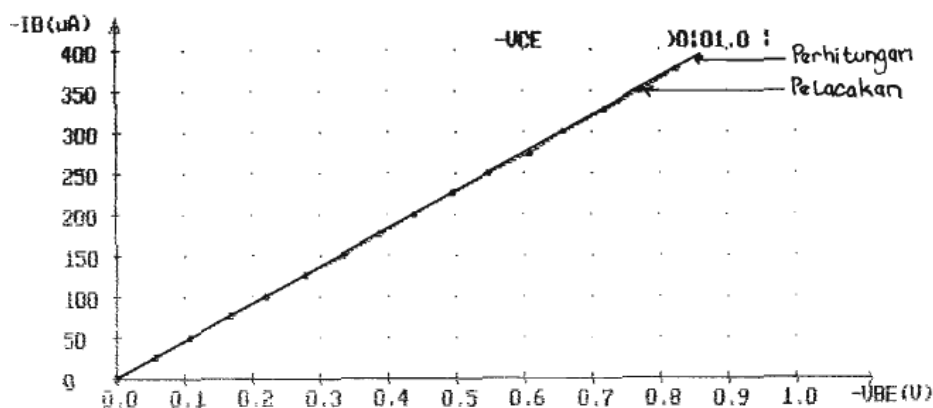
No	Polaritas Negatif			Polaritas Positif		
	Voltmeter (-V)	Rangkaian (-V)	Selisih(%)	Voltmeter (V)	Rangkaian (V)	Selisih(%)
1	0	0		0	0	
2	0,14	0,15	7,14	0,14	0,15	7,14
3	0,51	0,51	0,00	0,47	0,49	4,26
4	1,03	1,04	0,97	0,99	0,99	0,00
5	2,02	2,02	0,00	1,98	1,98	0,00

6	3,04	3,06	0,66	3	3,01	0,33
7	5,05	5,06	0,20	5	5,04	0,80
8	5,84	5,88	0,68	5,82	5,88	1,03
9	7,42	7,48	0,81	7,42	7,53	1,48
10	9,01	9,08	0,78	9,02	9,13	1,22
11	11,38	11,48	0,88	11,38	11,58	1,76

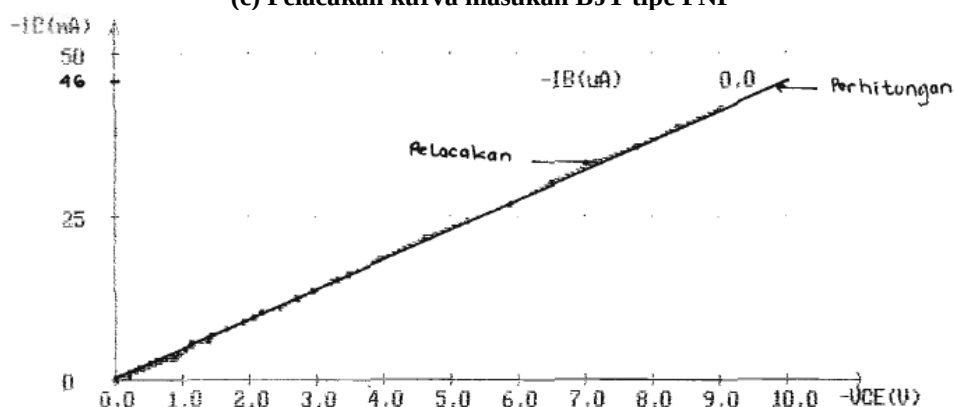
Hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa pada pengukuran tegangan yang rendah terjadi kesalahan pengukuran yang paling besar. Kesalahan maksimal pengukuran tegangan positif dan negatif terjadi ketika mengukur tegangan rendah, yaitu pada tegangan 0,14 V persentase selisihnya adalah 7,14 %.

Secara keseluruhan sistem diuji dengan memberi elemen linier (resistor) sehingga pemeriksaan dapat dilakukan dengan perbandingan antara plot persamaan garis lurus dan hasil pengukuran. Semua unit fungsional dirangkai menjadi sistem pelacak yang lengkap. Melalui antarmuka dengan pengguna, pelacakan kurva masukan dan kurva keluaran untuk BJT tipe NPN dan PNP dilakukan. Setiap hasil pelacakan dicetak dan disajikan dalam Gambar 6. Sebagian besar plot hasil pecakan dan perhitungan cukup berhimpit. Namun terdapat penyimpangan yang cukup mencolok dari hasil pelacakan kurva masukan, yaitu ketika $I_B = 25 \mu A$ ditemukan selisih sebesar -7,3 %. Sedangkan penyimpangan dari hasil pelacakan kurva keluaran terjadi saat $V_{CE} = 0,97 V$ yaitu sebesar -34,07 %. Penyimpangan ini tidak merata dan menonjol pada satu titik hasil pengukuran.





(c) Pelacakan kurva masukan BJT tipe PNP



(d) Pelacakan kurva keluaran BJT tipe PNP

Gambar 8 Hasil cetak pelacakan kurva masukan dan kurva keluaran BJT tipe NPN dan PNP

V. PENUTUP

Hasil pengujian keseluruhan sistem menunjukkan bahwa pelacak kurva karakteristik mampu melakukan pengumpulan data dan menampilkan kurva karakteristik masukan dan keluaran transistor. Pada beberapa titik kurva masih ditemui penyimpangan yang cukup besar, yaitu -7,3% untuk karakteristik masukan dan -34,07% pada karakteristik keluaran. Penyimpangan ini akan berpengaruh pada kemulusan kurva yang dihasilkan. Namun secara keseluruhan, plot hasil pelacakan dan perhitungan cukup berhimpit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gummel, H. K., dan Poon, H. C., "An Integral Control Model of Bipolar Transisto", *The Bell System*: 827-852, 1970..
- [2] Hodges, David A. and Jackson, Horace G., "Analisa dan Desain Rangkaian Terpadu Digital", Terjemahan Sofyan H. Nasution. Erlangga, Jakarta, 1983.
- [3] Millman, Jacob and Halkias, Chistor C., *Elektronika Terpadu (Integrated Electronics) Rangkaian dan Sistem Analog dan Digital*, Jilid 2. Terjemahan Barmawi. Erlangga, Jakarta, 1993.
- [4] Munich, Sischaka, F., "Gummel-Poon Bipolar Model. Model Description. Parameter Extraction", Agilent Technology GmbH, pp. DC 1 – DC 23, 1990.
- [5] Eggebrecht, Lewis C., "Interfacing to the IBM Personal Computer".
- [6] Soengeng, R. "Dasar-dasar Visualisasi 2D menggunakan Pascal Turbo dan Delphi", Edisi Pertama. Salemba Teknika, Jakarta, 2002.