



Pembuatan Alat Uji Komponen Aktif di Laboratorium Elektronika Dasar

Fauziah Sholikhatun Nisa¹, Winda Rachmawati², Rosita Ferdiyana³, Hariyanto⁴

Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Malang

Email: fauziah.k3@gmail.com, windarachmawati@polinema.ac.id, rosita_ferdiyana@polinema.ac.id,
hariyanto@polinema.ac.id

Abstract

The purpose of this research is to develop an electronic component test tool in project-based basic electronics practicum that can improve the understanding of the concept of Electronics Engineering students of Malang State Polytechnic. The method used in the research is Research and Development (R&D) which refers to development research referring to Sugiyono, namely by conducting basic research activities to obtain information on user needs (needs assessment), then continuing development activities (development) to produce products and assess the effectiveness of these products. From the research results in the form of active component testing module products operated through an electronic switch with a source voltage $V_S = 5$ Volts DC, it is declared in good condition if it has the following results, for the condition of the Seven Segment Common Anode and Seven Segment Common Cathode must light up all seven parts of the segment, for ADC 0804 8 bits it is declared in good condition if it has a sequential V_{out} from LSB to MSB (starting from 0.02 - 5.1 Volts) with an interval of 0.4 Volts per bit. From the test results of the NPN BD 139 series Transistor, PNP BD 140 Mosfet N Channel IRF 540, Mosfet P Channel IRF 9540 components using electronic switches that have been developed, a success rate of 100% or 0% error is obtained because the data obtained is included in the safe operating area of the datasheet of each component.

Keywords: electronic switch, module, electronics, project-based, Research and Development.

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan alat uji komponen elektronika pada praktikum elektronika dasar berbasis proyek yang dapat meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang. Metoda yang digunakan dalam penelitian adalah *Research and Development (R&D)* yang mengacu pada penelitian pengembangan yang merujuk pada Sugiyono, yaitu dengan melakukan aktifitas riset dasar untuk mendapatkan informasi kebutuhan pengguna (*needs assessment*), kemudian dilanjutkan kegiatan pengembangan (*development*) untuk menghasilkan produk dan mengkaji keefektifan produk tersebut. Dari hasil penelitian berupa produk modul pengujian komponen aktif yang dioperasikan melalui alat uji komponen aktif dengan tegangan sumber $V_S = 5$ Volt DC, dinyatakan dalam kondisi baik apabila memiliki hasil sebagai berikut, untuk kondisi *Seven Segment Common Anode* dan *Seven Segment Common Cathode* harus menyala semua tujuh bagian *segment* nya, untuk ADC 0804 8 bit dinyatakan dalam kondisi baik jika memiliki V_{out} berurut dari LSB ke MSB (mulai 0.02 - 5.1 Volt) dengan interval 0.4 Volt per bit. Dari hasil pengujian komponen Transistor NPN BD 139 series, Transistor PNP BD 140 Mosfet N Channel IRF 540, Mosfet P Channel IRF 9540 menggunakan alat uji komponen aktif diperoleh tingkat keberhasilan 100% atau error 0% karena data yang diperoleh masuk kedalam *safe operating area* dari *datasheet* masing masing komponen.

Kata kunci: alat uji komponen aktif, modul, elektronika, berbasis proyek, *Research and Development*.

Diterima Redaksi : 11-06-2024 | Selesai Revisi : 28-06-2024 | Diterbitkan Online : 30-06-2024

1. Pendahuluan

Komponen Elektronika merupakan hal utama untuk melaksanakan praktikum khususnya dalam praktikum elektronika di laboratorium Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektronika. Salah satu cara mempelajari elektronika dengan baik adalah dengan cara pembelajaran langsung melalui kegiatan praktikum.

Kegiatan praktikum memiliki peranan penting dalam melimpahkan cara berfikir dan kegiatan

memperoleh suatu data melalui proses penemuan. Kegiatan praktikum akan memberikan peran yang sangat besar terutama dalam membangun pemahaman konsep, verifikasi kebenaran konsep, menumbuhkan keterampilan proses peserta didik, menumbuhkan motivasi terhadap pelajaran yang dipelajari serta melatih kemampuan psikomotor [1-8]. Sehingga eksperimen atau praktikum sangat dibutuhkan oleh mahasiswa dalam mempelajari elektronika.

Komponen aktif elektronika adalah elemen penting dalam rangkaian elektronika yang membutuhkan sumber daya eksternal, komponen ini mampu memperkuat sinyal listrik dan mengendalikan aliran arus listrik dalam rangkaian elektronika [9-12]

Dalam kegiatan praktikum yang merupakan bagian integral dari Pendidikan dalam bidang sains dan Teknik, termasuk elektronika, yang membantu mahasiswa menghubungkan teori dengan praktik dan mempersiapkan mereka untuk tantangan di dunia profesional pemilihan dan pengujian komponen yang akan digunakan untuk membuat suatu rangkaian harus dilakukan agar proses praktikum berjalan lancar [13-18]. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan melakukan perancangan alat berupa alat uji komponen aktif yang dapat menentukan kualitas dari beberapa komponen aktif yang sering digunakan dalam praktikum di Lab Elektronika Dasar. Adapun komponen aktif yang akan dijadikan bahan uji meliputi *Seven Segment Common Anode*, *Seven Segment Common Cathode*, Transistor NPN BD 139 series, PNP 140 series, Mosfet IRF 540, IRF 9540, IC ADC 0804.

Luaran dari penelitian ini adalah alat berupa alat uji komponen aktif yaitu alat yang digunakan untuk mengendalikan aliran listrik dalam rangkaian elektronik secara otomatis dengan menggunakan komponen elektronik seperti transistor, thyristor atau relay. Dengan alat uji komponen aktif ini diharapkan pengguna atau mahasiswa mengetahui karakteristik berdasarkan *datasheet* dari komponen aktif yang akan digunakan, sehingga bisa menggunakan komponen aktif dalam kondisi layak dan praktikum berjalan dengan lancar. Karena satu saja kerusakan komponen akan menghambat jalannya suatu praktikum. Alat ini akan dilengkapi dengan buku petunjuk teknis yang berisi instruksi rinci, prosedur, dan informasi yang diperlukan untuk memahami, mengoperasikan, memelihara, atau memperbaiki suatu sistem, produk, atau perangkat tertentu. Buku ini biasanya disusun dengan bahasa yang jelas dan sistematis untuk memastikan pengguna, operator, atau teknisi dapat mengikuti dan menerapkan instruksi dengan benar. [19-22].

2. Metode Penelitian

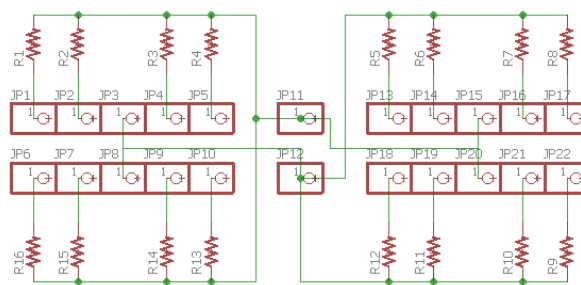
Alat uji komponen aktif dapat diaplikasikan pada rangkaian dengan menggunakan komponen semikonduktor. Sebagai alat uji komponen aktif tidak dapat ON/OFF secara langsung, melainkan membutuhkan rangkaian dari luar yang menghasilkan sinyal untuk memicu agar komponen semikonduktor dapat bekerja. Untuk itu diperlukan rangkaian penyulut (*triggering circuits*) untuk mengaktifkan komponen.

2.1. Metode pembuatan alat uji komponen aktif

1. Melakukan pengamatan (*observing*): Menentukan jenis IC dan komponen semikonduktor sebagai objek penelitian yang sering digunakan pada saat praktikum di Lab Elektronika Dasar

2. Membuat pengelompokan (*Classifying*): Memilih beberapa komponen semikonduktor sebagai bahan penyusun rangkaian alat uji komponen aktif dan menentukan beberapa komponen seperti *Seven Segment Common Anode*, *Seven Segment Common Cathode*, Transistor NPN BD 139 series, PNP 140 series, Mosfet IRF 540, IRF 9540, IC ADC 0804 untuk dijadikan bahan uji penelitian
3. Melakukan pengujian rangkaian (*circuit testing*) Melakukan serangkaian uji coba komponen menggunakan modul alat uji komponen aktif dengan menggunakan bahan uji yang telah ditentukan
4. Melakukan pengukuran (*measuring*) Melakukan pengujian tegangan pada tes poin yang telah ditentukan dari setiap IC yang di ujikan
5. Memvalidasi hasil pengujian tegangan (*Voltage test result validation*) Melakukan pemetaan data untuk IC yang dinyatakan baik dan IC yang dinyatakan rusak mengaju pada *datasheets* tiap – tiap IC yang diujikan.
6. Mencatat data hasil pengujian (*recording data*) Mencatat hasil tegangan output untuk tiap IC yang di uji dan tampilan output (untuk *Seven Segment CA* dan *Seven Segment CC*)
7. Membuat perancangan model box (*design hardware*) Membuat desain rancangan alat uji komponen aktif meliputi pemilihan komponen, penyusunan tata letak komponen, ukuran box.
8. Pembuatan buku petunjuk teknis pengoperasian alat.
9. Publikasi hasil penelitian.

Gambar 2.1 adalah untuk rancangan rangkaian alat uji komponen aktif pengujian *Seven Segment Common Anoda* dan *Seven Segment Common Cathoda*, Gambar 2.2 adalah rancangan rangkaian alat uji komponen aktif pengujian Transistor NPN BD 139 series, PNP 140 series, Mosfet IRF 540, IRF 9540, dan Gambar 2.3 adalah rangkaian alat uji komponen aktif pengujian IC ADC 0804.

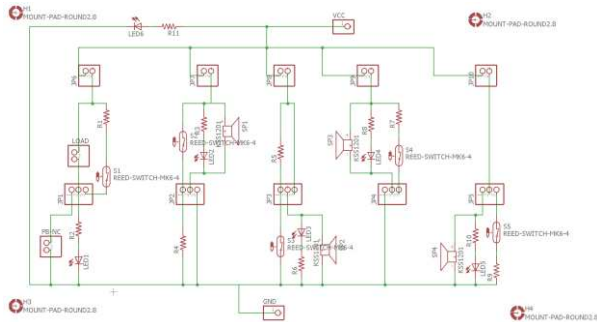


Gambar 2.1 Rangkaian Pengujian *Seven Segment CA* dan *CC*

Adapun komponen penyusun yang dibutuhkan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- a. 16 buah resistor $330 \Omega \pm 5\%$
- b. *Seven Segment Common Anoda*
- c. *Seven Segment Common Cathoda*

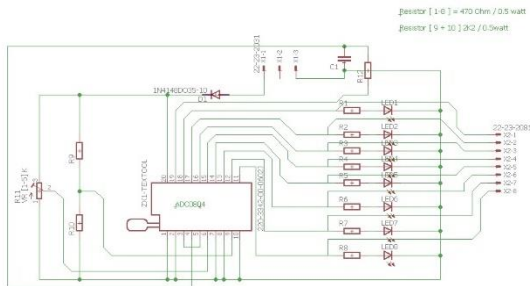
- d. 1 buah ZIF Socket Textool
- e. PCB



Gambar 2.2 Rangkaian Pengujian Transistor, MOSFET, SCR

Adapun komponen penyusun yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

- a. 11 buah resistor $1K\Omega \pm 5\%$
- b. 4 buah buzzer
- c. 1 buah ZIF Socket Textool
- d. Transistor dan MOSFET
- e. PCB



Gambar 2.3 Rangkaian Pengujian IC ADC 0804

Adapun komponen penyusun yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- a. 8 buah LED
- b. 8 buah resistor $470\Omega \pm 5\%$
- c. 2 buah resistor $2K2\Omega \pm 5\%$
- d. 1 buah resistor $1K\Omega \pm 5\%$
- e. 1 buah diode 1A
- f. 1 buah potensio $10K\Omega$
- g. 1 buah $150pF$
- h. IC ADC 0804
- i. 1 buah ZIF Socket Textool
- j. PCB

Rangkaian pengujian IC ADC yang dibuat berdasarkan dari *Basic ADC Tester*. Salah satu pengujian yang paling sederhana adalah dengan menerapkan tegangan input analog yang diketahui ke konverter dan menggunakan LED untuk menampilkan kode output digital

2.3 Langkah Pengujian Rangkaian Alat uji komponen aktif

1. Pengujian Seven Segment

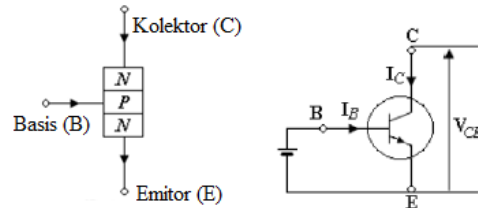
Jika Seven segmen semua 0s0egmen nya berfungsi dengan baik maka akan terlihat seperti Gambar 2.4



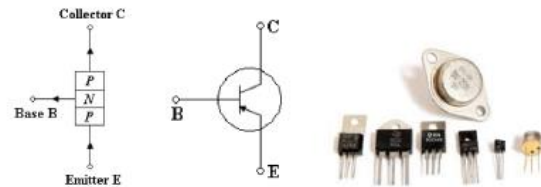
Gambar 2.4 Seven Segment

2. Pengujian Transistor

Transistor daya memiliki karakteristik kontrol untuk berfungsi sebagai saklar yaitu pada kondisi ON dan OFF. Gambar 2.5 adalah struktur dan simbol transistor NPN dan Gambar 2.6 adalah struktur dan simbol transistor PNP.



Gambar 2.5. Struktur dan Simbol Transistor NPN



Gambar 2.6. Struktur, Simbol, dan Bentuk Transistor PNP

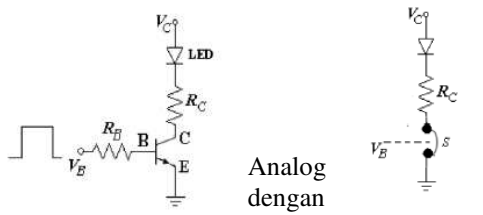
Untuk memfungsikan sebagai alat uji komponen aktif, transistor harus dioperasikan pada daerah saturasi atau jenuh. Pada daerah kerja ini, transistor akan menghasilkan *drop* tegangan yang rendah sehingga transistor berfungsi sebagai saklar pada kondisi *ON*. Transistor akan berfungsi sebagai saklar dalam kondisi *OFF* bila berada pada daerah *Cut Off*. Pada kondisi ini akan berdampak pada kondisi seperti rumus 1 dan 2:

$$V_{CE} \cong 0 \text{ (kecil)} \quad (1)$$

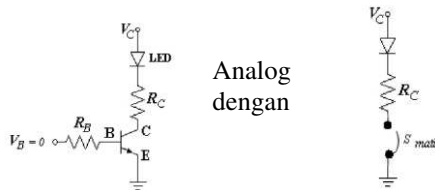
Sesuai dengan persamaan di atas maka pada kondisi jenuh ini, arus akan menjadi besar sedangkan tegangan V_{CE} kecil sekali mendekati nol (0). Pada kondisi ini dapat dikatakan bahwa hambatan pada CE, menuju nol sehingga seolah-olah transistor berfungsi sebagai saklar ON. Jadi untuk membuat transistor BJT berlaku sebagai saklar yang ON harus diberikan tegangan V_B yang mengakibatkan transistor saturasi.

Pada gambar karakteristik transistor juga dapat dilihat pada saat $V_B = 0$, maka arus basis $I_B = 0$. Akibatnya arus kolektor $I_c = 0$. Pada kondisi ini transistor akan berada pada kondisi tidak menghantarkan arus I_c sama dengan kondisi saklar terbuka

Kondisi transistor pada saat beroperasi pada daerah jenuh dan cut off dapat dijelaskan pada Gambar 2.7 transistor beroperasi sebagai saklar ON dan Gambar 2.8 transistor beroperasi sebagai saklar OFF,



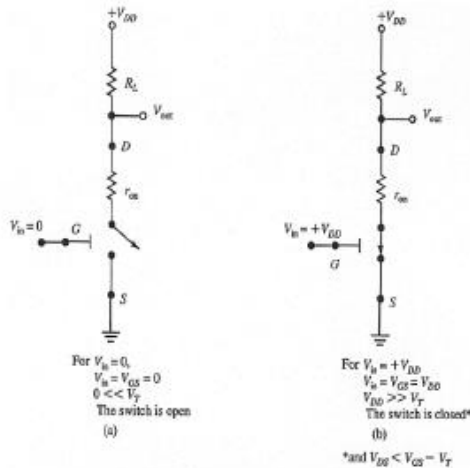
Gambar 2.7 Transistor beroperasi sebagai saklar On



Gambar 2.8 Transistor beroperasi sebagai saklar Off

3. Pengujian MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)

Salah satu aplikasi yang banyak digunakan pada MOSFET adalah untuk saklar (*switching*).

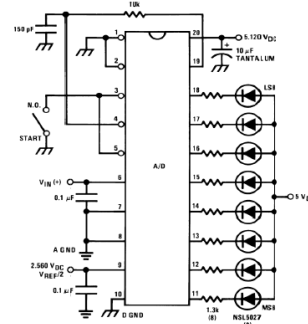


Gambar 2.9 MOSFET Sebagai saklar On dan Off

4. Pengujian IC ADC

Untuk memudahkan pengujian, $V_{REF}/2$ (pin 9) harus disuplai dengan 2.560 VDC dan tegangan suplai VCC 5.12 VDC harus digunakan. Ini memberikan nilai LSB sebesar 20 mV. Jika penyesuaian skala penuh harus dilakukan, tegangan input analog 5,090 VDC ($5,120 - 1/2$ LSB) harus diterapkan ke pin VIN (+) dengan pin VIN (-) diardekan. Nilai tegangan input $V_{REF}/2$ kemudian harus disesuaikan sampai kode output digital hanya berubah dari 1111 1110 menjadi 1111 1111. Nilai $V_{REF}/2$ ini kemudian harus digunakan untuk semua pengujian. Tampilan LED keluaran digital dapat diterjemahkan dengan membagi 8 bit menjadi 2 karakter heksa, 4 karakter yang paling signifikan (MS) dan 4 karakter paling tidak signifikan (LS). Tabel 1 menunjukkan ekuivalen biner fraksional dari dua kelompok 4-bit ini. Dengan menambahkan tegangan yang diperoleh dari kolom "VM" dan "VLS" pada Tabel 1, nilai nominal digital digital (ketika $V_{REF}/2 =$

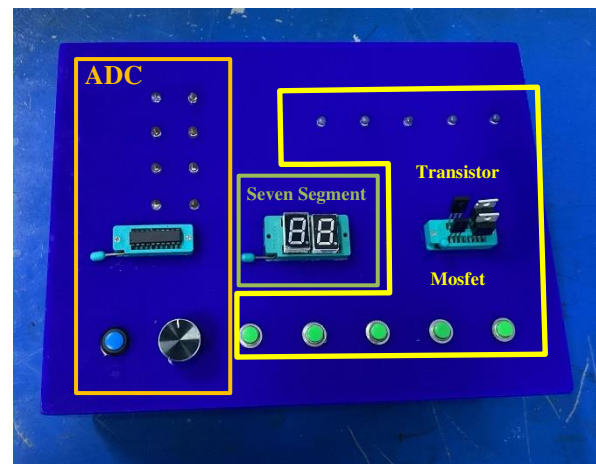
2,560V) dapat ditentukan. Misalnya, untuk tampilan LED output 1011 0110 atau B6 (dalam heksa), nilai tegangan dari tabel adalah $3,520 + 0,120$ atau 3,640 VDC. Nilai tegangan ini mewakili nilai tengah dari konverter ADC yang sempurna. Efek kesalahan kuantisasi harus diperhitungkan dalam interpretasi hasil pengujian.



Gambar 2.10 Rangkaian Pengujian IC ADC 0804

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari alat uji komponen aktif yang telah dibuat agar dapat digunakan untuk menguji komponen adalah sebagai berikut



Gambar 3.1. Modul Alat uji komponen aktif

Box alat uji komponen aktif memiliki ukuran 27x20x10 cm

1. ADC

- Tombol saklar tekan berwarna biru yang digunakan untuk me - reset IC ADC untuk pengaturan awal permulaan menyalanya LED mulai dari bit LSB ke MSB.
- Knop hitam potensio untuk mengatur nyala dan matinya LED mulai dari bit LSB ke bit MSB

2. Seven Segment

Pada bagian kiri untuk tempat pengujian *Seven Segment* common anoda dan sebelah kanannya adalah *Seven Segment* common katoda

3. Transistor dan MOSFET

Masing masing saklar tekan berfungsi untuk mengaktifkan dan menonaktifkan saat pengujian berlangsung.

3.1. Hasil dan Pembahasan Pengujian Transistor dan MOSFET

Hasil pengujian dan pengambilan data Hasil yang didapatkan setelah melakukan pengujian

transistor dan MOSFET terdapat di Tabel 3.1 saat kondisi saklar OFF dan Tabel 3.2 saat kondisi saklar ON sebagai berikut:

Tabel 3.1 Posisi Saklar OFF dengan dialiri tegangan sumber $V_s = 5$ Volt

I	Tr / MOSFET	Transistor		MOSFET		Indikator	
		NPN BD 139 series	PNP 140 series	N-chnl IRF 540	P-chnl IRF 9540	LED	Buzzer
1	V_{EE} / V_G (Volt)	0	0	0	$= V_s$	Off	Off
2	V_{CE} / V_D (Volt)	$= V_s$	$= V_s$	$= V_s$	0	Off	Off
3	V_{BE} / V_s (Volt)	0	$= V_s$	0	$= V_s$	off	Off

Tabel 3.2 Posisi Saklar ON dengan dialiri tegangan sumber $V_s = 5$ Volt

I	Tr / MOSFET	Transistor		MOSFET		Indikator	
		NPN BD 139 series	PNP 140 series	N-chnl IRF 540	P-chnl IRF 9540	LED	Buzzer
1	V_{EE} / V_G (Volt)	7.8mV	4.4 V	4.8V	5.7mV	on	on
2	V_{CE} / V_D (Volt)	16.7mV	4.8 V	92mV	$= V_s$	on	on
3	V_{BE} / V_s (Volt)	0.76mV	4.1 V	91mV	$= V_s$	on	on

Tabel 3.3 Pengujian komponen aktif diberikan dengan sumber tegangan 5V_{DC} dan IC diujikan ke modul

Tombol Saklar	Lampu LED	Bunyi Buzzer	Kondisi Transistor dan Mosfet Ketika ditancapkan
On	Nyala	Nyala	Baik
On	Mati	Mati	Rusak
Off	Nyala	Nyala	Rusak

3.2. Hasil dan Pembahasan pengujian IC ADC 0804

Tabel 3.4 Data dan V_{out}

Data Biner dan V _{out}	Output Biner								V per bit	V out Pengujian (Output biner x V per bit)
	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰		
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.02	0.02 (1 x 0,02)
0.4	0	0	0	1	0	1	0	0	0.02	0,4 (20 x 0,02)
0.8	0	0	1	0	1	1	0	0	0.02	0,88 (44 x 0,02)
1.2	0	0	1	1	1	1	0	1	0.02	1,22 (61 x 0,02)

Pada hasil perhitungan menggunakan menggunakan F_{clock} 10 KHz yang berasal dari function generator dan V_{ref} sebesar 5,12 Volt, diperoleh data pada Tabel 3.4 sebagai berikut :

Tabel 3.5. Hasil Pengujian IC ADC 8 Bit

Data Biner dan V _{out}	Output Biner								V per bit	V out Pengujian (Output biner x V per bit)
	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰		
1.6	0	1	0	0	1	1	1	0	0.02	1,56 (78 x 0,02)
2.0	0	1	1	0	0	1	1	1	0.02	2,06 (103 x 0,02)
2.4	0	1	1	1	0	1	0	1	0.02	2,34 (117 x 0,02)
2.8	1	0	0	0	1	1	0	0	0.02	2,8 (140x 0,02)
3.2	1	0	1	0	0	0	1	0	0.02	3,24 (162 x 0,02)
3.6	1	1	0	0	0	0	0	0	0.02	3,84 (192 x 0,02)
4.0	1	1	0	0	1	1	0	0	0.02	4,08 (204 x 0,02)
4.4	1	1	0	1	0	1	1	1	0.02	4,38 (219 x 0,02)
4.8	1	1	1	0	1	1	0	0	0.02	4,88 (244 x 0,02)
5.0	1	1	1	1	1	1	1	1	0.02	5.1 (255 x 0.2)

Pada tabel output bilangan biner merupakan kondisi hasil nyala atau mati pada LED output yang dipasang pada kaki 21,20,19,18,8,15,14,17 pada IC ADC 8 bit 0804. Pada output biner 0 menunjukkan kondisi OFF / L dan pada output biner 1 menunjukkan LED ON / H.

Pada Tegangan V per bit didapatkan saat lampu menyala hanya pada bit 2⁰, dengan menggunakan alat ukur multimeter digital.

Pada Vout pengujian didapatkan dengan cara mengalikan antara V per bit dan output biner yang dikonversikan ke dalam bentuk decimal.

4. Kesimpulan Dan Saran

Setelah melakukan pengujian alat uji komponen aktif yang telah dibuat dapat difungsikan dengan baik karena telah sesuai dengan *datasheet* tiap tiap komponen aktif yang diujikan.

Pada modul pengujian komponen menggunakan alat uji komponen aktif ini terdapat sensitifitas yang menyebabkan jika komponen peletakkannya terbalik tidak sesuai desain, maka hasil pengujian bisa menyebabkan tidak valid, sehingga diharapkan mahasiswa memperhatikan posisi tiap kaki komponen sesuai desain yang telah dibuat yang terdapat pada buku petunjuk singkat tentang pengoperasian alat.

5. Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Allah S.W.T yang memberi kemudahan pada proses pembuatan alat ini, terimakasih kepada Politeknik Negeri Malang sebagai fasilitator

sehingga penelitian ini dapat berlangsung,, rekan rekan sesama PLP, dan mahasiswa yang memberi masukan masukan sehingga ditemukannya ide untuk membuat alat uji komponen aktif ini.

Daftar Rujukan

- [1] Sutrisno, H., 2016. Metodologi Riset. Cet.2. Yogyakarta : Pustaka Pelajar
- [2] Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). "The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century." *Science Education*, 88(1), 28-54.
- [3] Farid, M., Ismanto., 2022. Dasar – Dasar Teknik Elektronika . Cet.1. Jakarta : Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.
- [4] Muhammad Muslim, Syuhendri, Saparini, 2017. Pengembangan Modul Praktikum Elektronika Berbasis Proyek Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Mahasiswa. STEM SAINS. Palembang , 23 September 2017.
- [5] Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). "The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century." *Science Education*, 88(1), 28-54.
- [6] Carin. Arthur,A.,(1977) *Teaching Modern Science*, Seventh edition, New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- [7] Margono, H. (2000). Metode Laboratorium. Malang: Jurusan Pendidikan Biologi FMIPA Universitas Negeri Malang Press
- [8] Macias, R., Gonzalez, R., & Jimenez, L. (2010). "A Practical Approach to Teaching Electronics." *IEEE Transactions on Education*, 53(4), 587-594.
- [9] Muhamad A., 2018. Aplikasi Elektronika Daya Pada Sistem Tenaga Listrik. Ed.1, Cet.1. Yogyakarta: UNY Press
Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta diakses melalui website <http://muhal.wordpress.com>
- [10] E. Acha, V.G. Agelidis, O. Anaya-Lara, T.J.E Miller (2009). Power Electronics Control in Electrical Systems.
- [11] Ewald F Fuch, Mohammad A.S Masoum (2012), Power Conversion of Renewable Energy Systems, Springer, New York City.
- [12] Hart, DW. (2011). Introduction to Power Electronics. Indiana : Prentice-Hall International, Inc.
- [13] Istanto W. Djatmiko (2011), Modul Kuliah Elektronika Daya, Universitas Negeri Yogyakarta.
- [14] John William Motto Jr (2007). Introduction to Solid State Power Electronics, Powerex, Semiconductor Division Youngwood Pennsylvania.
- [15] Rashid, MH. (2003). Power Electronics: Circuits, devices and application. New Jersey : Prentice-Hall, Inc .
- [16] ALBERT MALVINO AND DAVID BATES,2010. ELECTRONIC PRINCIPLES, EIGHTH EDITION , *Portal Ebook UNTAG SURABAYA*, accessed May 21, 2024, <https://ebook.untag-sby.ac.id/items/show/491>
- [17] Lee, Y. S., & Mok, P. K. T. (1999). "A CMOS Current-Mode PWM Control Circuit for Low-Voltage Power Applications." *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 34(4), 441-448.
- [18] M. Rahmad*), Yessy Angelia, dan Muhammad Sahal, "PERANCANGAN RANGKAIAN APLIKASI DASAR TRANSISTOR BOPOLAR." *Jurnal Geliga Sains* 1 (1), 38-44, 2007 Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Riau ISSN 1978-502X.
- [19] Arikunto, S. (2010). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Cet 14 Jakarta: Rineka Cipta.
- [20] Andi Prastowo. 2012. *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif*. Yogyakarta: Diva Press
- [21] Ristekdikti. 2017. *Panduan Penyusunan Perangkat Pembelajaran & Bahan Ajar*. Jakarta: Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan Direktorat Pembelajaran
- [22] JMuslich, Masnur. 2010. *Textbook Writing. Dasar-dasar Pemahaman, Penulisan, dan Pemakaian Buku Teks*. E-Book. Cet 1. Jakarta : Ar-ruzz Media
- [23] Rahmatina, Raita dkk, 2023. Implementasi Transistor BD139 dan Rangkaian Relay pada Mesin Air. JIFOTECH (Journal Of Information Technology) Vol. 3, No. 1, Maret 2023, Palangkaraya.
- [24] Texas Instruments., SNOSBI1C-November 2009-Revised 2015, Datasheet ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804, ADC0805.

