

Perancangan Alat Karakterisasi Dioda dengan ESP32 dan Rangkaian Op-Amp LM358 Berbasis Android

Ari Bawono Putranto¹, Zaenul Muhlisin², Amatul Lutfiah³, Fakhruddin Mangkusasmito¹, Megarini Hersaputri¹

¹Departemen Teknologi Industri, Program Studi DIV Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Semarang

²Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

³Departemen Teknologi Industri, Program Studi DIII Instrumentasi dan Elektronika, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Semarang
aribawonoputranto@lecturer.undip.ac.id

Diterima 31 Mei 2021

Disetujui 11 Juni 2021

Abstract— In this research, forward bias diode characterization testing tool using the ADC and the internal DAC of the ESP32 microcontroller has been created. The output voltage of the DAC is added by 2 times by using LM358 non-reversing op-amp amplifier circuit. The test results of the DAC output voltage can reach a maximum value of 6.3 volts as a source of variable DC power supply for the diode forward bias characteristic test circuit. Diode forward bias characterization testing is carried out through the interface of an Android. Forward bias characterization curve has a value and shape almost the same as the manual test. Diode forward bias characterization test using the application is faster than using manual measurements with a multimeter. Based on tests carried out using the Android smartphone application for 3 times, it was obtained an average time of 30 seconds, while manually using a measuring instrument obtained an average time of 657.7 seconds.

Index Terms—Diode, ESP32 Microcontroller, LM358 op-amp, Android

I. PENDAHULUAN

Dioda merupakan komponen elektronika yang memiliki dua terminal dan terbuat dari sambungan dua jenis semi konduktor P dan N. Dioda berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah (AC to DC). Untuk mengetahui hubungan antara arus yang lewat dengan beda potensi pada ujung-ujungnya maka dilakukan uji karakteristik dioda. Uji karakteristik dioda dilakukan untuk mengukur nilai tegangan dan arus dioda sehingga menghasilkan grafik kurva karakteristik terutama untuk bias maju dioda.

Pengujian karakteristik dioda bias maju memerlukan sebuah catu daya DC yang variasi nilai tegangannya tidak terlalu tinggi. Kurva karakteristik bias maju dioda dapat dilakukan dengan pengukuran secara manual menggunakan peralatan dan alat ukur

standar [1][2]. Uji karakteristik dioda memerlukan beberapa peralatan pendukung seperti *voltmeter*, *amperemeter*, catu daya variable DC dan perangkat pendukung lain seperti kabel *jumper*, *breadboard* serta catu daya. Selain itu diperlukan kecermatan dan ketelitian saat membuat rangkaian uji dioda dan alat ukur. Pada uji karakteristik dioda, dilakukan pengukuran arus dan tegangan di beberapa titik, serta dilakukan variasi nilai arus dan tegangan untuk menghasilkan kurva karakteristik bias maju dioda. Hal ini menyebabkan diperlukan waktu yang lama untuk pengambilan data karakteristik dioda [2][3]. Hal tersebut mendorong untuk merancang alat karakterisasi dioda agar saat pengambilan data karakteristik dioda lebih cepat dan efisien.

Pengujian karakteristik dioda dilakukan dengan alat uji berbasis mikrokontroler untuk mengetahui hubungan antara arus dan tegangan [3]. Pada penelitian ini dirancang alat uji karakteristik dengan mikrokontroler ESP32 yang memiliki perangkat pendukung seperti *Analog Digital Converter (ADC)*, *Digital Analog Converter (DAC)* dan koneksi jaringan WiFi. Mikrokontroler ESP32 juga dapat melakukan komunikasi antarmuka WiFi dengan perangkat android. Penggunaan sistem android dapat mempermudah proses monitoring pengujian karakteristik dioda.

Pada rangkaian mikrokontroler ESP32 dikombinasikan dengan rangkaian penguat tak membalik op-amp IC 358 untuk menguatkan tegangan masukan pada rangkaian dioda yang dapat secara otomatis melalui program DAC mikrokontroler ESP32. Keseluruhan sistem pada alat uji karakteristik dioda dapat dikendalikan dan dimonitor hasil grafik karakteristik melalui antarmuka jaringan Android.

II. DASAR TEORI

A. Mikrokontroler ESP 32

Modul mikrokontroler ESP32 seperti pada Gambar 1 merupakan pengembangan dari seri sebelumnya yaitu ESP8266. Pada mikrokontroler ESP32 memiliki banyak kelebihan daripada ESP8266 dengan jumlah *General Purpose Input Output* (GPIO) yang lebih banyak. Kemudian pada mikrokontroler ini memiliki fitur yang tidak dimiliki pada seri ESP8266 yaitu fitur DAC dengan resolusi 8 bit untuk menghasilkan nilai variasi tegangan keluaran analog DC murni. Karena pada seri ESP 8266 untuk mendapatkan variasi tegangan analog dilakukan dengan melakukan variasi nilai *duty cycle* pada pulsa PWM yang berbentuk gelombang kotak. Sedangkan untuk ADC pada mikrokontroler ESP32 juga telah memiliki resolusi 12 bit, berbeda dengan seri ESP8266 yang memiliki resolusi 10 bit. Sehingga untuk pengukuran nilai tegangan dapat lebih presisi tanpa harus menambahkan komponen ADC eksternal dengan resolusi tinggi. Untuk komunikasi antarmuka juga tersedia *bluetooth* 4.0 serta koneksi WiFi yang dapat digunakan untuk aplikasi berbasis *Internet of Things* (IoT) [4].



Gambar 1. Bentuk fisik Modul ESP 32

B. LCD (Liquid Crystal Display) 2×16

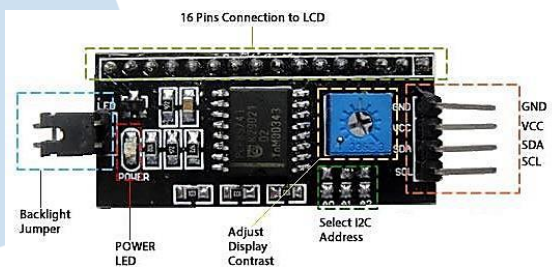
Pada LCD terdapat suatu baris dan kolom yang digunakan untuk menentukan berapa banyak jumlah karakter yang mampu ditampilkan pada layar tersebut [5]. Sebagai contoh untuk LCD berukuran 2×16 maka dalam satu layar secara bersamaan hanya mampu menampilkan tulisan sebanyak 32 karakter yang terbagi dalam 2 baris dan 16 kolom seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. LCD 2×16

Pada umumnya modul LCD memiliki 16 buah pin yang digunakan untuk menampilkan tulisan. Namun tidak semua pin tersebut digunakan. Sebagai contoh untuk pengiriman data ke LCD cukup menggunakan 4 bit data yaitu pin D4, D5, D6 dan D7, sehingga pin D0, D1, D2 dan D3 tidak digunakan. Serta untuk kontrol baca dan tulis LCD menggunakan tiga buah pin yaitu RS, RW dan E. Sedangkan pin yang lain digunakan untuk mengatur lampu backlight dan kecerahan layar.

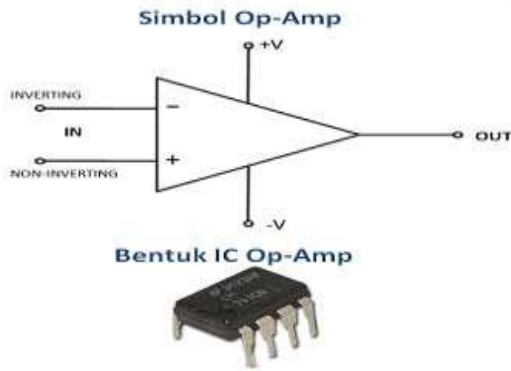
Untuk mengurangi jumlah penggunaan pin data pada LCD digunakan perangkat tambahan yaitu modul konverter I²C LCD. Modul ini memiliki 4 pin yang akan dihubungkan ke Arduino Uno, Nano, Mega bahkan mikrokontroler seperti ESP32 dan ESP8266 juga sudah mendukung untuk berkomunikasi data LCD. Pin yang digunakan untuk komunikasi data I²C modul ini adalah VCC, GND, SCL dan SDA seperti yang ditunjukkan Gambar 3. Sistem komunikasi data I²C terdiri atas saluran *Serial Clock* (SCL) dan *Serial Data* (SDA) yang membawa informasi antara I²C dengan pengontrolnya untuk menampilkan karakter pada layar LCD [5].



Gambar 3. Modul konverter I²C LCD [5]

C. IC Penguat Op-Amp LM358

Op-amp merupakan sebuah IC yang berfungsi untuk menguatkan sinyal listrik atau tegangan. Besarnya penguatan dari sebuah rangkaian op-amp ditentukan oleh nilai tahanan atau *resistor* yang dipasang pada rangkaian tersebut. Tahanan tersebut meliputi resistor umpan balik R_F (*resistor Feedback*) dan R_{IN} (*resistor input*). Secara umum rangkaian pada op-amp sebagai penguat tegangan terbagi menjadi dua macam yaitu penguat membalik dan penguat tak membalik. Pada penguat membalik nilai tegangan keluarannya memiliki fase yang berkebalikan dengan tegangan masukan op-amp, sedangkan pada penguat tak membalik tegangan keluarannya memiliki nilai keluaran yang sama dengan tegangan masukan [6]. Salah satu tipe IC Op-Amp yang populer adalah LM358 karena pada IC tersebut dapat digunakan untuk catu daya simetri maupun non simetri. Bentuk fisik dan simbol op-amp ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Simbol dan bentuk fisik IC op-amp LM358 [6]

D. Wireless Local Area Network (LAN)

Wireless LAN, merupakan suatu komunikasi secara nirkabel suatu perangkat jaringan LAN menggunakan alamat IP dan port. Untuk dapat menghubungkan secara wireless antara node device antar client, menggunakan chanel frekuensi serta Service Set Identifier (SSID). Sebab SSID dapat berfungsi sebagai identitas dari suatu perangkat wireless. Wireless LAN itu sendiri merupakan sebuah jaringan komputer lokal yang menggunakan suatu gelombang Radio Frequency (RF) untuk media transmisi data pada suatu jaringan komputer. Salah satu perangkat yang menggunakan jaringan wireless yaitu access point WiFi. Pada mikrokontroler ESP32 dapat difungsikan juga sebagai access point WiFi yang memiliki SSID dengan melakukan pengaturan pada kode program [7].

E. Aplikasi Delphi Mobile Android

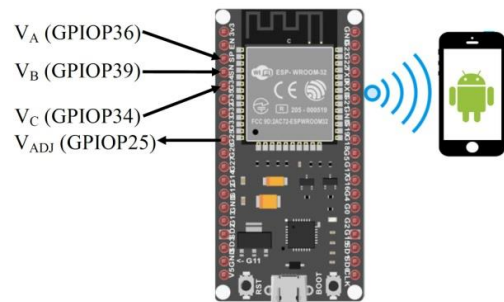
Aplikasi Delphi Mobile Android merupakan sebuah aplikasi komputer yang dikembangkan oleh Embarcadero untuk membuat aplikasi perangkat lunak berbasis platform android. Embarcadero C++ Builder, Delphi, dan Appmethod. FireMonkey merupakan platform aplikasi pertama berbasis Graphic Processing Unit (GPU) [8]. Dengan menggunakan aplikasi Delphi Mobile Android, maka pengembangan aplikasi antarmuka pada perangkat android smartphone melalui jaringan WiFi akan menjadi lebih mudah. Karena pada aplikasi tersebut telah tersedia komponen pendukung untuk melakukan komunikasi data menggunakan alamat IP melalui komponen Indy Clients. Selain itu juga masih banyak fitur-fitur lain yang dapat digunakan untuk membuat aplikasi menjadi lebih menarik seperti: multimedia, grafik, tombol, teks dan sebagainya.

III. DESAIN DAN IMPLEMENTASI

Pada penelitian ini telah dirancang desain perangkat keras meliputi rangkaian uji karakterisasi dioda yang terdiri atas modul mikrokontroler ESP 32,

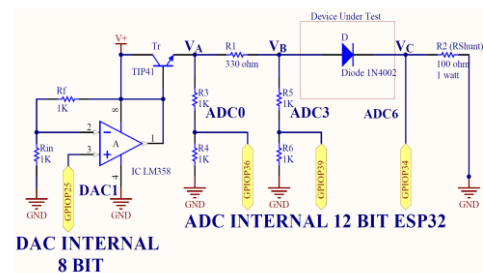
modul display LCD 2x16 beserta rangkaian konverter I2C LCD, rangkaian uji karakterisasi dioda dan rangkaian catudaya baterai yang menggunakan dua buah baterai Li Ion 18650.

Perangkat mikrokontroler ESP32 yang digunakan adalah satu DAC, tiga ADC internal, dan komponen pada mikrokontroler ESP32 yang dapat berkomunikasi melalui jaringan WiFi. Masing-masing ADC internal yang digunakan adalah ADC 0 (GPIO36) untuk titik VA, ADC 3 (GPIO39) untuk titik VB, dan ADC 6 (GPIO34) untuk titik VC, sedangkan DAC internal yang digunakan adalah DAC 0 (GPIO25) seperti terlihat pada Gambar 5.



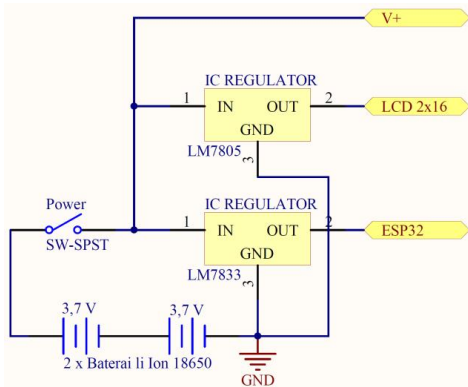
Gambar 5. Penggunaan pin DAC dan ADC Mikrokontroler ESP32

Pada rangkaian uji karakterisasi dioda ditambahkan rangkaian penguat op-amp tak membalik dengan IC LM358 untuk menguatkan tegangan dan arus pada keluaran DAC mikrokontroler ESP32. Untuk mengukur tegangan pada masing-masing titik VA, VB, dan VC terhadap terminal ground digunakan tiga buah ADC. Sehingga dengan menggunakan perhitungan nantinya dapat ditentukan nilai tegangan masuk rangkaian dioda (VADJ), tegangan dioda (VD) dan arus listrik (ID) yang mengalir rangkaian melalui pembacaan nilai tegangan Rshunt seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pada pembacaan tegangan VA dan VB diberi tambahan rangkaian pembagi tegangan menggunakan dua buah resistor dengan nilai perbandingan 2:1 karena pembacaan ADC internal untuk ESP32 hanya sekitar 3,3 volt. Oleh sebab itu, diberikan suatu rangkaian pembagi tegangan supaya mampu membaca tegangan hasil penguatan op-amp 358 dan DAC hingga maksimum 6,6 volt.



Gambar 6. Rangkaian uji karakterisasi dioda dengan memanfaatkan DAC dan ADC internal ESP32 serta IC LM358

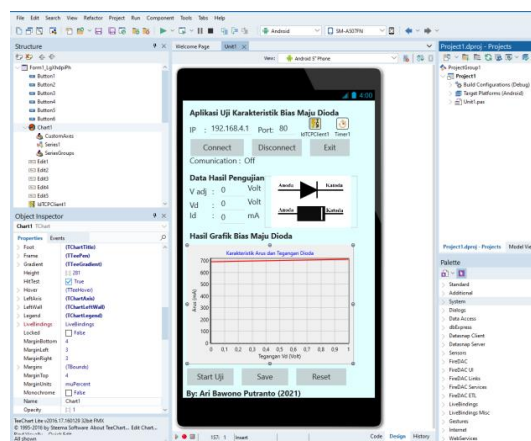
Untuk catudaya pada rangkaian uji karakterisasi dioda ini menggunakan dua buah baterai Li Ion 18650 dengan tegangan masing-masing 3,7 volt. Pada baterai dirangkai secara seri sehingga nantinya akan diperoleh tegangan total 7,4 volt yang kemudian diregulasi menjadi 3,3 volt oleh IC regulator LM7833 untuk suplay daya mikrokontroler ESP32. Sedangkan untuk LCD 2x16 memerlukan tegangan 5 volt sehingga digunakan IC regulator 7805 seperti yang ditunjukkan Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian catudaya baterai dan regulator tegangan

A. Desain Aplikasi Antarmuka Smartphone Android

Aplikasi antarmuka yang digunakan memanfaatkan jaringan WiFi antara mikrokontroler dan *smartphone* android. Untuk jaringan *access point* WiFi langsung menggunakan mikrokontroler ESP32 tanpa memerlukan perangkat tambahan lain. Sehingga komunikasi cukup dilakukan melalui konfigurasi alamat IP dan Port pada mikrokontroler ESP32. Pada aplikasi antarmuka *smartphone* android selain dapat menunjukkan nilai tegangan dan arus saat uji karakterisasi dioda, memiliki tampilan visual berupa grafik untuk mengetahui bentuk kurva hasil uji karakterisasi secara langsung. Desain tampilan aplikasi antarmuka *smartphone* android ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan desain aplikasi android alat uji karakterisasi dioda

IV. METODE PENELITIAN

Pengujian alat karakteristik dioda pada mikrokontroler ESP32 yang memanfaatkan DAC dan ADC internal dilakukan dengan pengambilan nilai arus dan tegangan. Hasil dari pengambilan data komponen ADC mikrokontroler ESP32 dibandingkan dengan alat ukur standar seperti *amperemeter* dan *voltmeter*.

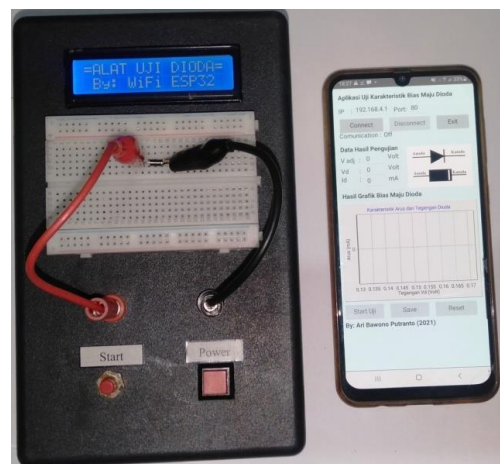
Sedangkan untuk pengujian tegangan keluaran DAC mikrokontroler ESP32 dilakukan dengan mengukur nilai tegangan sebelum dan sesudah penguatan oleh OP-amp LM358. Rangkaian DAC dan penguat op-amp IC LM358 digunakan sebagai pengganti perangkat catudaya DC variable yang dapat diatur nilainya melalui sebuah program. Pada pengujian DAC mikrokontroler ESP32 dimasukan berbagai variasi nilai tegangan minimum hingga nilai maksimum yang mampu dihasilkan oleh rangkaian DAC tersebut.

Pengujian cara kerja keseluruhan alat karakteristik dioda adalah perbandingan antara data arus dan tegangan hasil uji karakterisasi alat yang dirancang dengan data hasil pengukuran uji karakterisasi secara manual menggunakan alat ukur standar. Perbandingan dilakukan meliputi data hasil dan lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh kurva grafik karakterisasi dioda.

V. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Perancangan Alat Uji Karakterisasi Bias Maju Dioda

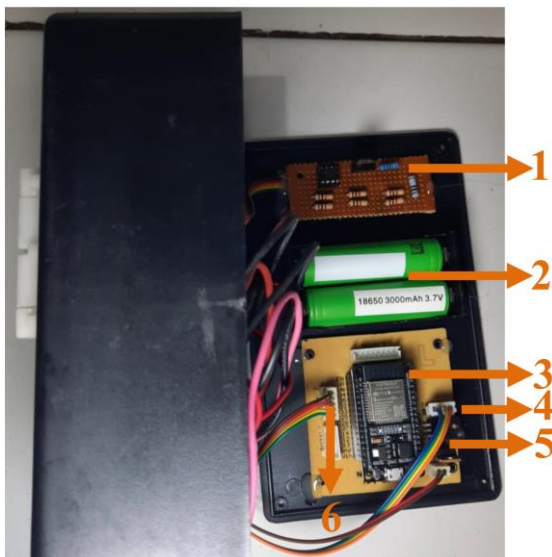
Alat uji karakterisasi bias maju dioda dirancang dengan menggunakan kotak plastik berukuran 18 cm × 11 cm × 6 cm berwarna hitam dengan tampilan LCD pada bagian atas untuk menampilkan informasi hasil pengukuran. Pada bagian tengah terdapat dua buah terminal untuk pemasangan kaki anoda dan kaki katoda dioda yang akan diuji. Untuk mempermudah pemasangan disediakan sebuah breadboard. Hasil tampilan luar alat dapat ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Alat uji karakterisasi bias maju dioda dengan ADC dan DAC internal ESP32 serta antarmuka *smartphone* android

Untuk melakukan uji karakterisasi dilakukan pengaktifan WiFi android pada *smartphone* agar dapat berkomunikasi dengan perangkat keras yang telah dirancang. Setelah perangkat keras uji karakterisasi dioda dinyalakan, maka secara otomatis jaringan access point WiFi akan aktif dengan nama SSID="Tes_Dioda" dan password="1234567890". Kemudian komunikasi data kedua perangkat melalui jaringan WiFi dapat dilakukan dengan alamat IP=192.168.4.1 dan port=80.

Alat uji karakterisasi bias maju ini dilengkapi dengan dua buah baterai Li Ion 18650 sehingga dapat bekerja tanpa menggunakan catu daya tambahan. Sistem dijalankan secara otomatis dengan menekan tombol "Start" pada perangkat atau pada aplikasi android seperti yang ditunjukkan Gambar 10.



Gambar 10. Instalasi rangkaian alat uji karakterisasi bias maju dioda

Instalasi rangkaian alat uji karakterisasi bias maju dioda terdiri dari bagian berikut:

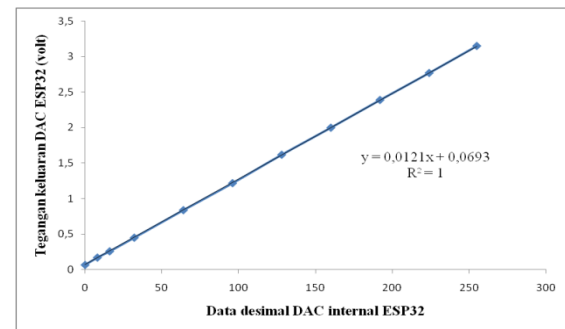
1. Rangkaian karakterisasi yang berisi penguat tegangan dan arus oleh IC op-amp LM358 serta rangkaian resistor pembagi tegangan,
2. Baterai 3,7V Li Ion 18650 sebagai sumber catudaya perangkat,
3. Modul mikrokontroler ESP32,
4. Kabel data I²C untuk tampilan LCD,
5. Regulator tegangan 3,3 volt dan 5 volt, dan
6. Kabel data ADC serta DAC internal ESP32.

B. Hasil Uji Tegangan Keluaran Rangkaian DAC Internal Mikrokontroler ESP32

Pengujian tegangan keluaran pada rangkaian DAC internal 8 bit bertujuan untuk mengetahui tegangan minimal hingga tegangan maksimum yang mampu dihasilkan. Pada alat uji karakteristik dioda diberikan variasi data nilai desimal 0 hingga 255 melalui aplikasi program.

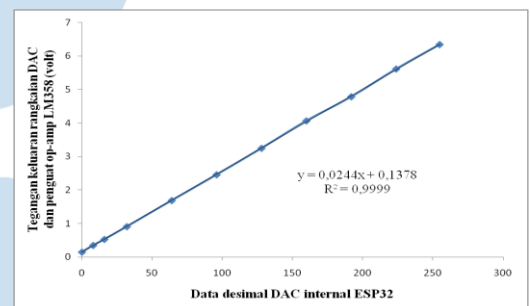
Hasil keluaran tegangan diukur menggunakan multimeter digital. Gambar 11 menunjukkan grafik

hasil pengukuran tegangan keluaran DAC internal mikrokontroler ESP32.



Gambar 11. Pengukuran tegangan keluaran pada terminal DAC internal ESP32

Pada Gambar 11 ditunjukkan bahwa nilai data DAC yang diberikan melalui program memiliki hubungan yang linier terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan oleh alat yang dirancang. Nilai tegangan maksimal ditunjukkan pada nilai tegangan 3,15 volt. Untuk memperoleh hasil keluaran tegangan dua kali lipat diberikan tambahan rangkaian penguat op-amp tak membalik IC LM358 dengan nilai penguatan sebesar 2× untuk memperoleh nilai tegangan keluaran maksimal DAC sebesar 6,3 volt. Hasil keluaran tegangan dua kali lipat ditunjukkan pada Gambar 12.



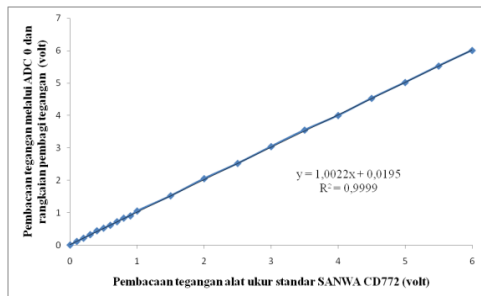
Gambar 12. Pengukuran tegangan keluaran DAC internal ESP32 setelah dikuatkan oleh penguat op-amp IC LM358

C. Hasil Uji Pengukuran Tegangan dan Arus Melalui ADC Internal Mikrokontroler ESP32

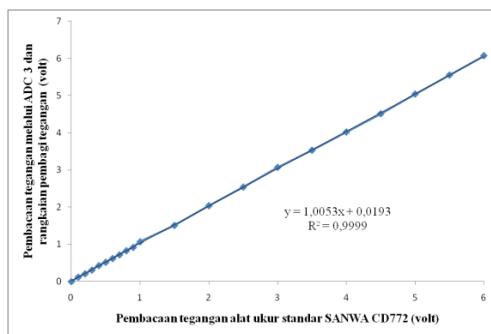
Pada pengujian pembacaan ADC dilakukan untuk mengetahui akurasi dan ketelitian pembacaan ADC internal ESP32 yang dibandingkan dengan alat ukur standar. Untuk ADC0 dan ADC3 pada rangkaian ditambahkan rangkaian pembagi tegangan dengan menggunakan dua buah tahanan 1K ohm supaya memperoleh perbandingan 2:1 sehingga kedua ADC tersebut mampu untuk mengukur tegangan hingga 6,6 volt.

Pada Gambar 13 dan Gambar 14 ditunjukkan hasil pengujian pembacaan tegangan oleh ADC internal dimana kedua pengukuran tersebut masing-masing memiliki akurasi pembacaan tegangan yang cukup baik dengan nilai regresi linier R² sebesar 0,9999.

Pada ADC0 berfungsi untuk mengukur tegangan hasil dari DAC dan penguat op-amp LM358 sebagai masukan catu daya DC variabel rangkaian uji karakterisasi dioda, sedangkan ADC3 digunakan untuk mengukur tegangan pada terminal anoda dioda terhadap terminal GND.

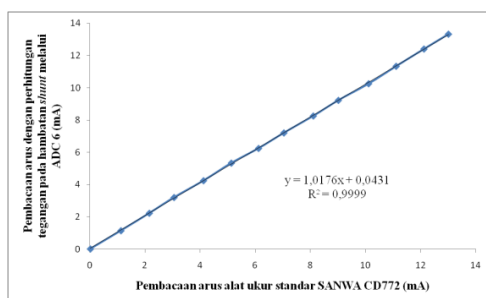


Gambar 13. Pengujian akurasi pengukuran tegangan oleh ADC0 untuk pembacaan tegangan titik V_A pada rangkaian uji dioda.



Gambar 14. Pengujian akurasi pengukuran tegangan oleh ADC3 untuk pembacaan tegangan titik V_B pada rangkaian uji dioda

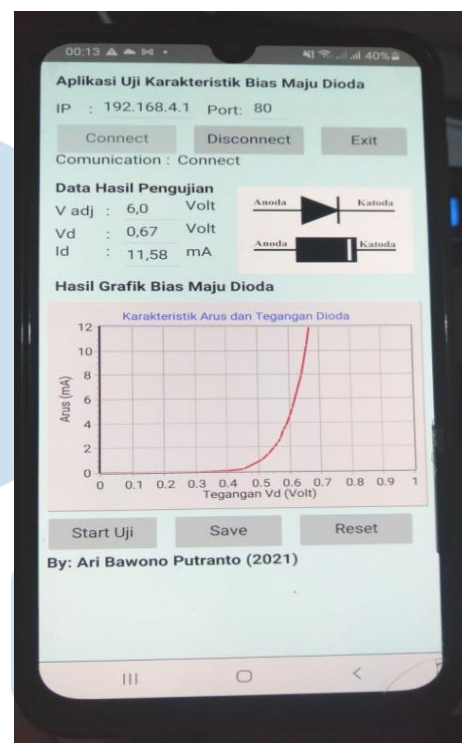
Pengukuran arus rangkaian pada alat dilakukan dengan membaca tegangan pada tahanan R_{shunt} yang dipasang pada ujung rangkaian uji dioda. Sehingga melalui perhitungan hukum ohm pada program mikrokontroler dapat diketahui nilai arus yang mengalir pada rangkaian uji karakteristik bias maju dioda menggunakan nilai tahanan tetap R_{shunt} sebesar 100 ohm. Hasil pengujian akurasi dan ketelitian pengukuran arus menggunakan perhitungan hukum ohm dan alat standar ditunjukkan pada Gambar 15. Pada Gambar 15 pembacaan arus melalui perhitungan hukum ohm memiliki akurasi yang cukup baik dengan nilai regresi linier R^2 sebesar 0,9999.



Gambar 15. Pengujian akurasi pengukuran arus melalui perhitungan hukum ohm dengan R_{shunt} sebesar 100 ohm.

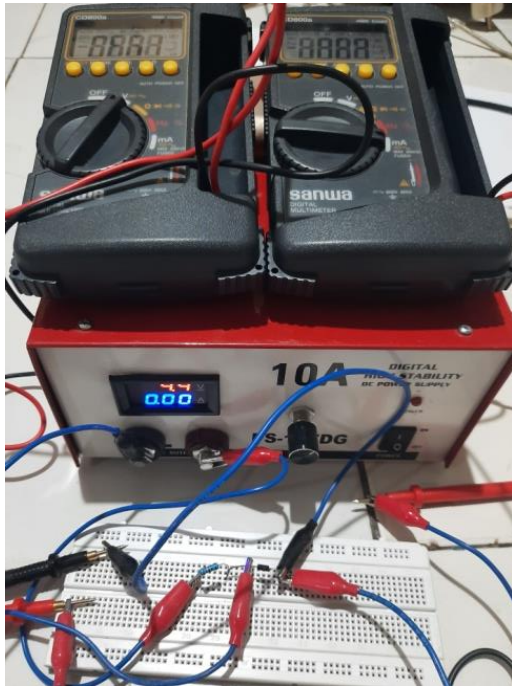
D. Hasil Uji Karakterisasi Bias Maju Dioda Menggunakan Aplikasi Smartphone Android

Pengujian karakterisasi dioda dilakukan dengan menggunakan alat uji karakteristik yang dirancang dan aplikasi smartphone yang telah dibuat. Komponen yang digunakan untuk pengujian adalah dioda dengan seri 1N4002 dimana dioda tersebut mampu untuk menyearahkan arus maksimal sebesar 1 ampere. Sebelum pemasangan dioda pada terminal anoda dan katoda pada *board*, jaringan WiFi antar perangkat terlebih dahulu harus diaktifkan dan dihubungkan. Setelah kedua perangkat terhubung maka tombol "Connect" ditekan untuk memulai komunikasi data kemudian tombol "Start Uji" ditekan untuk melakukan uji karakterisasi bias maju dioda. Hasil pengujian karakterisasi bias maju dioda 1N4002 dapat ditunjukkan pada Gambar 16.



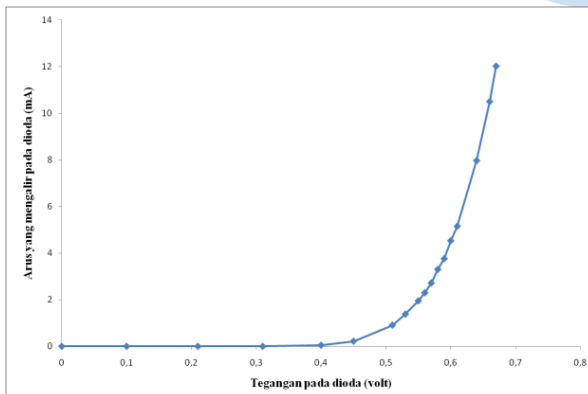
Gambar 16. Pengujian karakterisasi bias maju dioda 1N4002 menggunakan aplikasi *smartphone* android dengan memanfaatkan ADC dan DAC internal ESP32

Pada gambar 16 ditunjukkan secara otomatis grafik kurva bias maju dioda hasil uji karakterisasi menggunakan aplikasi *smartphone* android dapat dilakukan secara otomatis dalam waktu kurang dari 1 menit. Sebagai perbandingan maka dilakukan pula pengujian karakterisasi bias maju dioda 1N4002 secara manual menggunakan peralatan catu daya DC variabel, dua buah multimeter digital SANWA CD772 seperti ditunjukkan pada Gambar 17. Pengujian dilakukan dengan mencatat arus dan tegangan pada dioda dengan melakukan variasi tegangan catu daya DC dari 0 hingga 6 volt.



Gambar 17. Pengujian karakterisasi bias maju dioda 1N4002 secara manual menggunakan peralatan catu daya DC variabel dan multimeter digital.

Hasil pengujian secara manual diperoleh data-data pengukuran arus dan tegangan beberapa titik. Kemudian data tersebut diolah dan dibuat grafik sehingga diperoleh kurva karakterisasi bias maju dioda seperti ditunjukkan pada Gambar 18 berikut.



Gambar 18. Grafik hasil pengolahan data karakterisasi bias maju secara manual menggunakan peralatan dan alat ukur standar.

Untuk perbandingan lama waktu saat melakukan uji karakterisasi bias maju dioda yang dilakukan secara otomatis melalui aplikasi *smartphone* android dan secara manual diperoleh data seperti tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Perbandingan lama waktu pengujian karakterisasi bias maju dioda

	Pengujian bias maju dengan aplikasi <i>smartphone</i> android (detik)			Pengujian bias maju secara manual dengan alat ukur standar (detik)		
Data uji	30	31	29	628	650	695
Rata-rata	30			657,7		

Berdasarkan pengujian melalui aplikasi *smartphone* android dan pengujian secara manual dengan alat ukur standar diperoleh bentuk kurva grafik karakterisasi yang memiliki nilai dan bentuk yang hampir sama. Sehingga aplikasi tersebut dapat dijadikan sebuah alternatif untuk melakukan uji karakterisasi bias maju dioda secara cepat. Berdasarkan perbandingan lama waktu pengujian bias maju dioda menggunakan aplikasi *smartphone* android serta perangkat alat uji yang telah dibuat diperoleh rata-rata waktu sebesar 30 detik yang jauh lebih cepat dari pengujian secara manual dengan rata-rata waktu pengujian sebesar 657,7 detik.

VI. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan uji karakterisasi bias maju dioda 1N4002 dengan memanfaatkan ADC dan DAC internal mikrokontroler ESP32 berbasis android. Perbandingan lama waktu antara hasil uji karakterisasi bias maju dioda dengan alat yang dirancang pdan hasil pengujian dengan alat ukur standar, menunjukkan bahwa waktu pengujian dengan alat yang dirancang lebih cepat. Lama waktu pengambilan data dengan alat yang dirancanga rata-rata sebesar 30 detik. Sehingga dapat alat karakteristik dioda yang dirancang dapat menjadi sebuah alternatif pengukuran karakteristik dioda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] COVIDSurg Collaborative, Elective surgery cancellations due to the COVID-19 pandemic: Global predictive modelling to inform surgical recovery plans. (2020). *British Journal of Surgery*. doi:10.1002/bjs.11746
- [2] Sathya, C. (2020, March 16). Perspective | Your elective surgery will be canceled. It's for everyone's good. Diakses pada August 22, 2020, dari <https://www.washingtonpost.com/outlook/2020/03/16/your-elective-surgery-will-be-canceled-its-everyones-good>
- [3] Kumar, K. (2020, May 07). Mumbai staring at a huge shortage of doctors and health professionals. Retrieved September 02, 2020, from <https://economictimes.indiatimes.com/news/politics-and-nation/mumbai-staring-at-a-huge-shortage-of-doctors-and-health-professionals/articleshow/75563053.cms>
- [4] Muthiariny, D. (2020, March 27). Indonesian Doctors Threaten to Go on Strike over Lack of PPE. Retrieved September 02, 2020, from

- <https://en.tempo.co/read/1324800/indonesian-doctors-threaten-to-go-on-strike-over-lack-of-ppe>
- [5] Submission, I. (n.d.). Japan's medical workers facing worsening shortages of protective gear, survey says. Retrieved September 02, 2020, from <https://www.japantimes.co.jp/news/2020/05/02/national/japan-medical-workers-severe-shortages-protective-gear-survey/>.
- [6] Spanish health workers protest over PPE shortages. (n.d.). Retrieved September 02, 2020, from <https://news.cgtn.com/news/2020-05-26/Spanish-health-workers-protest-over-PPE-shortages-QN15QZuCcw/index.html>
- [7] Surgery - General. (n.d.). Retrieved September 02, 2020, from <https://www.ama-assn.org/specialty/surgery-general>
- [8] Myint, F. (2018). 2. Handling instruments. In Kirk's Basic surgical techniques (7th ed., pp. 10-24). Edinburgh: Elsevier.
- [9] Park, H. (2020, March 4). An Open-source Anthropomorphic Robot Hand System: HRI Hand. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/SFPB2>.
- [10] Moldovan, C. C., & Staretu, I. (2017). An Anthropomorphic Hand with Five Fingers Controlled by a Motion Leap Device. *Procedia Engineering*, 181, 575-582. doi:10.1016/j.proeng.2017.02.436
- [11] Zaid, A. M., & Yaqub, M. A. (2012). UTHM HAND: Performance of Complete System of Dexterous Anthropomorphic Robotic Hand. *Procedia Engineering*, 41, 777-783. doi:10.1016/j.proeng.2012.07.243
- [12] Farag, M., & Azlan, N. Z. (2015). Adaptive Backstepping Position Control of Pneumatic Anthropomorphic Robotic Hand. *Procedia Computer Science*, 76, 161-167. doi:10.1016/j.procs.2015.12.334
- [13] D. (2019, June 09). The da Vinci® system: Technology and surgical analysis. Retrieved September 02, 2020, from <https://entokey.com/the-da-vinci-system-technology-and-surgical-analysis/>
- [14] D. (2019, June 09). Figure 6.2 [Digital image]. Retrieved September 02, 2020, from <https://entokey.com/the-da-vinci-system-technology-and-surgical-analysis/>
- [15] D. (2019, June 09). Figure 6.3 [Digital image]. Retrieved September 02, 2020, from <https://entokey.com/the-da-vinci-system-technology-and-surgical-analysis/>
- [16] He, Jianjun & Gu, Hong & Wang, ZHELONG. (2013). Solving the forward kinematics problem of six-DOF Stewart platform using multi-task Gaussian process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 227. 161-169. 10.1177/0954406212444508
- [17] ELKOURA, G., AND SINGH, K. 2003. Handrix: Animating the Human Hand. *Proc. SCA*, 110--119.
- [18] Ahmad, Arslan & Ibraheem, Muhammad & Ahsen, Mohsin & Shah, Khawar & Shahid, Umer. (2017). Design and Implementation of Robotic Arm that Copies the Human Arm.

