

Pengembangan Alat Uji Keandalan IC OP-AMP Tipe Single, Dual dan Quad Berbasis ESP32

Arwin Pamungkas, Rayuh Dhillah Hanggara, Enas Duhri Kusuma

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
Corresponding Author: arwin.pamungkas@ugm.ac.id

Received: 29th August 2025; Revised: 25th June 2026; Accepted: 26th June 2026;

Available online: 26th June 2026; Published regularly: July 2026

Abstract

Accurate reliability testing of Operational Amplifiers Integrated Circuit (IC Op-Amps) is essential in education and device repair. This study aims to develop a portable reliability test tool for single, dual, and quad Op-Amp ICs based on the ESP 32 microcontroller with high testing accuracy. The research method used is research and development. The device is equipped with a 3.7 V lithium battery with 2000 mAh capacity, which can be recharged via Type-C USB connector. It features a rotary encoder for command and menu navigation, an Organic Light Emitting Diode (OLED) for menu and test result display. The IC testing process includes generating reference signal, reading output signal, comparing it with the input signal, and determining the status as "OK" or "Faulty." Testing was conducted on several IC types, including LM741, LM358, and LM324. Results indicate that the device can identify IC defects with 100% accuracy. Battery endurance testing showed a lifespan up to ± 10 hours active use, plus ± 10 hours standby time, and perform over 1,900 testing cycles without performance degradation. With its compact design, standalone operation, and testing accuracy, this device has great potential to become a reliable solution for troubleshooting and learning process, particularly in electrical engineering laboratories.

Key Words : *Op-Amp, Op-Amp Tester, ESP 32, Reliability Testing, Integrated Circuit*

Abstrak

Pengujian keandalan Operational Amplifiers Integrated Circuit (IC Op-Amp) secara akurat sangat dibutuhkan dalam bidang pendidikan dan perbaikan perangkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat uji keandalan IC Op-Amp tipe single, dual, dan quad berbasis mikrokontroler ESP 32 yang portabel dengan akurasi hasil pengujian yang tinggi. Metode penelitian yang digunakan adalah research and development. Alat ini dilengkapi dengan baterai lithium 3,7 V dengan kapasitas 2000 mAh yang dapat diisi ulang dengan konektor usb tipe-C, sistem perintah dan navigasi menu menggunakan rotary encoder, serta layar Organic Light Emitting Diode (OLED) untuk tampilan menu dan penyajian hasil pengujian. Proses pengujian IC mencakup pembangkitan sinyal referensi, pembacaan sinyal keluaran IC, perbandingan terhadap sinyal masukan, dan penentuan status "OK" atau "Faulty". Pengujian dilakukan terhadap beberapa tipe IC seperti LM741, LM 358 dan LM 324. Hasil menunjukkan bahwa alat ini mampu mengidentifikasi kerusakan IC dengan tingkat akurasi pengujian mencapai 100%. Uji ketahanan baterai menunjukkan daya tahan hingga ± 10 jam penggunaan aktif, ditambah ± 10 jam waktu siaga dan dapat menjalankan lebih dari 1900 siklus pengujian tanpa penurunan performa. Dengan bentuk yang ringk as, pengoperasian mandiri serta akurasi pengujian, alat ini berpotensi besar menjadi solusi praktis dalam proses troubleshooting maupun kegiatan pembelajaran khususnya di laboratorium teknik elektro

Kata Kunci : *Op-Amp, Op-Amp Tester, ESP 32, Uji Keandalan, Integrated Circuit*

PENDAHULUAN

Pengujian keandalan *Operational Amplifiers Integrated Circuit (Op-Amp IC)* yang selanjutnya disebut IC Op-Amp sangat diperlukan dalam bidang elektronika, dalam pendidikan, maupun perawatan dan perbaikan peralatan. Hal tersebut seiring dengan banyaknya penggunaan IC Op-Amp pada kegiatan praktikum maupun penggunaan pada berbagai perangkat pengolahan sinyal. Terlebih beberapa tipe IC Op-Amp termasuk dalam kategori IC dengan suplai tegangan rendah dan konsumsi daya rendah. Kumngern (2024) menyatakan bahwa topik terkait IC *low-voltage* dan *low-power consumption* yang banyak digunakan pada berbagai perangkat elektronik portabel modern, peralatan biomedis/kesehatan dan sensor merupakan topik yang menantang dan relevan saat ini.

Pada bidang pendidikan IC Op-Amp banyak digunakan pada kegiatan praktikum, serta pembuatan berbagai proyek, penelitian yang dibuat oleh mahasiswa dan peneliti/dosen. Op-Amp banyak diterapkan pada rangkaian analog sebagai penguat tegangan, penguat selisih tegangan, dan sebagainya (Pauzan, 2019). Secara teknis, Op-Amp banyak digunakan pada rangkaian penjumlah, pengurang, pembanding, pengali, serta rangkaian tapis aktif (Nugraha et al., 2019).

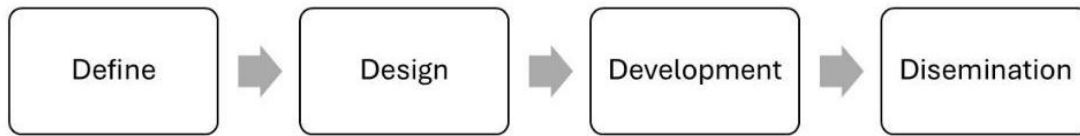
Baharudin (2021) menyatakan bahwa rangkaian terpadu (IC) linier banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti elektronik audio, teknologi kedokteran, dan instrumentasi, namun dalam praktiknya para teknisi sering mengalami kesulitan dalam menentukan kondisi IC, khususnya Op-Amp, apakah masih layak digunakan atau telah mengalami kerusakan. Baharudin telah mengembangkan alat uji IC linier yang mampu menguji kondisi IC, tetapi alat tersebut hanya menggunakan satu indikator LED sebagai penanda hasil uji dan difokuskan pada pengujian op-amp tipe single seperti LM741. Keterbatasan ini menunjukkan adanya celah penelitian, terutama dalam hal penyajian hasil pengujian yang lebih informatif dengan layar serta fleksibilitas pengujian terhadap berbagai jenis IC Op-Amp.

Alat uji keandalan IC Op-Amp perlu memiliki desain yang portabel dengan keluasaan dalam menguji berbagai tipe IC, karena IC Op-Amp memiliki beberapa tipe dengan konfigurasi yang berbeda pula. Enny (2016) menyatakan bahwa saat ini, masyarakat lebih cenderung menggunakan alat yang dibuat portable. Alat yang portable, dianggap lebih efektif dan efisien, sehingga alat yang dibuat secara konvensional mulai banyak ditinggalkan oleh pengguna.

Berdasarkan uraian di atas, perlu dikembangkan sebuah alat yang dapat melaksanakan fungsi pengujian IC Op-Amp secara akurat dan tepat. Pada penelitian ini, dikembangkan alat untuk menguji beberapa jenis IC Op-Amp yang banyak digunakan dalam kegiatan pembelajaran mulai dari IC single, dual dan quad yang praktis dan portable. Alat juga perlu dilengkapi dengan indikator yang dapat menunjukkan hasil pengujian IC baik atau tidak sehingga diharapkan dapat memudahkan pengguna.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Dasar Teknik Elektro, Biomedis dan Informasi Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik UGM, sejak bulan Maret hingga Juli 2025. Penelitian ini melibatkan Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) dan Dosen Pengampu Mata Kuliah Sistem Tertanam serta Instruktur Praktikum. Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah *research and development (R&D)* meliputi beberapa tahap, diantaranya: (1) *Define* yaitu tahap penetapan alat berdasar analisis kebutuhan, (2) *Design* yaitu tahap perancangan alat, (3) *Development* yaitu tahap pengembangan alat, dan (4) *Disemination* yaitu tahap penerapan dan pengujian alat (Thiagarajan, 1974).



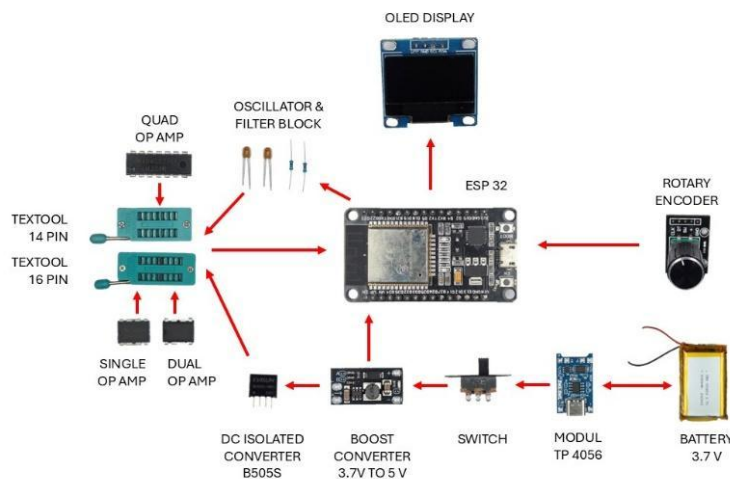
Gambar 1. Metodologi penelitian

Bahan yang digunakan adalah ESP 32 Devkit V1, zif socket textool 14 pin dan 16 pin, layar OLED 0.96 inci 4 pin, rotary encoder HW-040, kapasitor 22 μ F, resistor $\frac{1}{4}$ watt 1K Ω , baterai lithium 3.7 V 2000 mAh, saklar geser, modul charger TP4056 type-C, boost converter 3.7 to 5V-12V, DC isolated converter B0505S, PCB, box universal 13x7x2,5 cm, dan sampe IC Op-Amp (LM741, LM358, LM324). Adapun alat yang digunakan diantaranya solder, penyedot timah, gerinda mini, obeng set, bor tangan, pisau cutter, software easyeda, arduino IDE, osiloskop, power supply, generator sinyal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

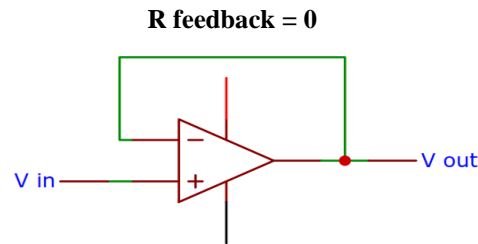
A. Desain Alat

Berdasarkan hasil analisa dan diskusi oleh Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) dan Dosen Pengampu Praktikum serta Mata Kuliah Sistem Tertanam, didapatkan kriteria Op-Amp tester yang diharapkan sebagai berikut: (a) Alat dapat digunakan untuk menguji IC Op-Amp dengan tipe single, dual dan quad, (b) alat mampu beroperasi mandiri tanpa bantuan alat lain dari luar, (c) alat dapat menampilkan kesimpulan IC berfungsi dengan baik atau tidak secara langsung. Kemudian dibuatlah rancangan alat yang portable sehingga mudah di bawa dan dilengkapi baterai, layar penampil, serta socket yang memungkinkan pengujian IC berulang kali tanpa merusak pin IC. Blok diagram rancangan alat berdasarkan kriteria yang telah ditentukan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram rancangan Op-Amp Tester portabel berbasis ESP 32

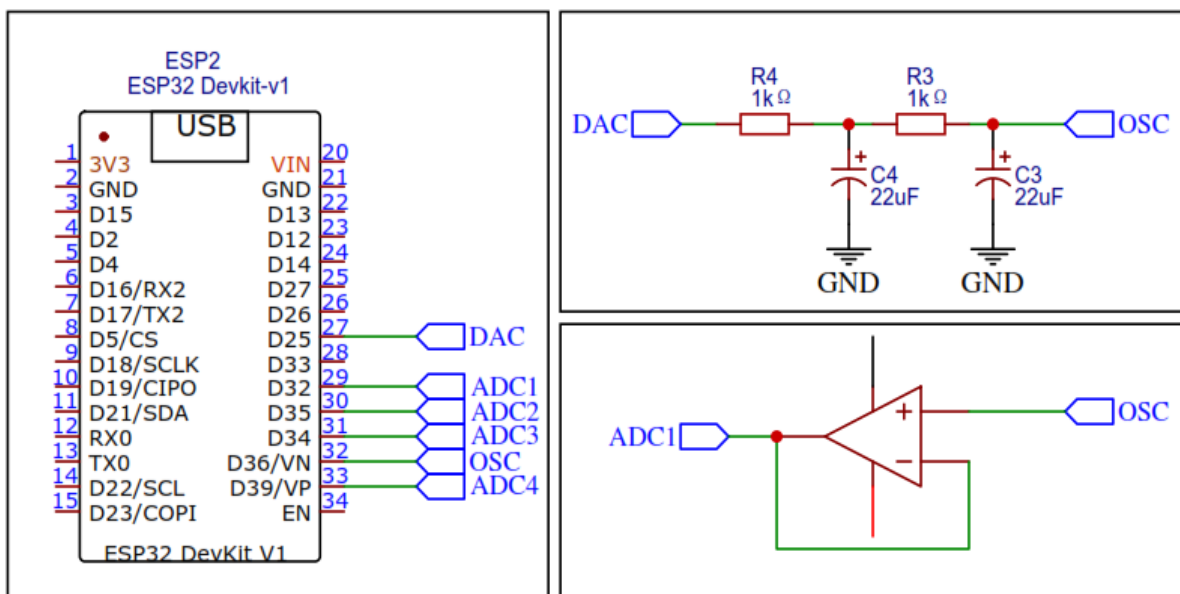
Metode pengujian fungsi Op-Amp dilakukan dengan membuat rangkaian penguat pengikut tegangan (*voltage follower*). Pengikut tegangan berfungsi sebagai rangkaian penyangga (*buffer*) dengan penguatan sama dengan 1 (satu). Sutrisno (1987) menyatakan bahwa dapat dibuat suatu bentuk khusus penguat tak membalik dengan mengatur $R_{feedback}$ sama dengan 0 (tanpa $R_{feedback}$). Oleh karena kedua masukan hubung singkat maya, maka $V_{keluaran}$ (V_o) akan sama dengan $V_{masukan}$ (V_i), atau penguatan lingkaran tertutup sama dengan satu. Rangkaian penyangga tersebut dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian pengujian dengan metode *voltage follower*

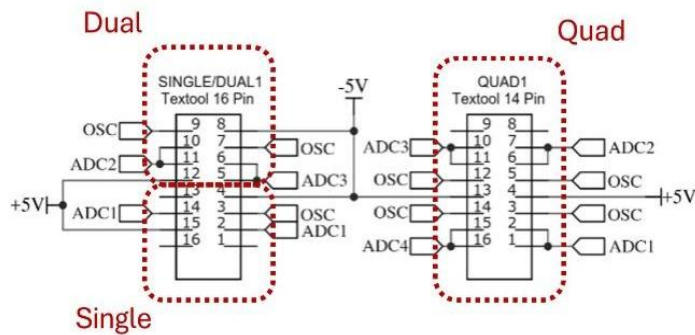
Tegangan masukan (V_{in}) dimasukkan pada terminal tak membalik (*non-inverting*) pada Op-Amp, sehingga fasa sinyal keluaran akan tetap sama dengan fasa sinyal masukannya. Konfigurasi rangkaian *non-inverting* dapat memperkuat sinyal input dan tetap mempertahankan fasanya (Saputro et al., 2024). Nilai tegangan keluaran pada penguat *non-inverting* dengan nilai resistansi sama dengan 0 akan memiliki bati minimum bernilai 1 (Isas, 2018). Dengan konfigurasi tersebut, sinyal keluaran seharusnya sama persis dengan sinyal masukan, baik nilai tegangan maupun fasanya.

Tegangan masukan pada Op-Amp diperoleh dari pembangkitan sinyal internal memanfaatkan pin *Digital to Analog Conversion* (DAC) pada mikrokontroler ESP 32. Tegangan keluaran (V_{out}) dari Op-Amp diteruskan ke pin *Analog to Digital Conversion* (ADC) ESP 32. Dengan demikian, selanjutnya dapat dibuat program untuk membandingkan antara sinyal masukan op amp yang dihasilkan oleh pin DAC dengan sinyal keluaran Op-Amp yang masuk ke pin ADC. Sebagaimana karakteristik *voltage follower*, seharusnya sinyal keluaran Op-Amp akan sama besar dengan sinyal masukannya sehingga Op-Amp dikatakan dalam kondisi baik atau “OK”. Namun jika ditemukan perbedaan antara sinyal keluaran Op-Amp dengan sinyal masukannya, maka dapat dikatakan Op-Amp tersebut dalam keadaan tidak baik “*Faulty*”. DAC pada ESP 32 menggunakan pin GPIO25 atau GPIO26 (Espressif System, 2025). Secara sederhana, koneksi op amp dengan ESP 32 dapat dilihat pada gambar 4.



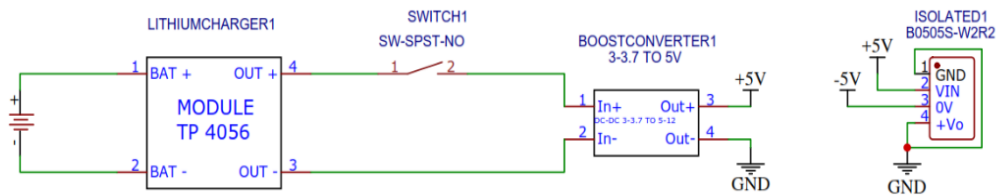
Gambar 4. Rangkaian pembangkitan sinyal, filter dan Op Amp

Pin DAC terhubung dengan masukan pada rangkaian *Low Pass Filter* (LPF) untuk anti-aliasing. Filter ini berfungsi untuk mencegah sinyal dengan frekuensi tinggi yang dapat menyebabkan gangguan pada sinyal sampling. Sinyal dengan frekuensi rendah, tegangan keluarannya akan sama dengan tegangan masukan, sedangkan pada frekuensi tinggi, tegangan keluarannya akan diperkecil (Sutrisno, 1987). Penambahan resistor dan kapasitor yang terhubung dengan masukan *non-inverting* pada rangkaian Op-Amp menghasilkan rangkaian filter lolos rendah aktif (Wardhana et al., 2022). LPF akan beroperasi pada frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi *cut-off*, dan akan melemahkan sinyal dengan frekuensi yang melebihi *cut-off* (. Keluaran dari filter ditandai dengan label OSC akan terhubung dengan pin masukan tidak membalik pada Op-Amp. Keluaran Op-Amp akan kembali masuk ke ESP 32 melalui GPIO D32, D35, D34, dan D39 dengan label ADC1, ADC2, ADC 3, dan ADC 4 tergantung pada tipe IC yang diuji. Sebagai tempat dudukan untuk pemasangan IC yang diuji, digunakan *zif socket* 16 pin untuk IC single dan dual yang masing-masing tipe memerlukan 8 pin, dan *zif socket* 14 pin digunakan untuk IC quad. Melalui soket tersebut, Op-Amp akan mendapatkan tegangan masukan simetris sebesar +5V dan -5V. Adapun pengujian untuk ketiga tipe IC tersebut tidak akan dilakukan secara bersamaan, maka pin keluran Op-Amp single, dual dan quad dapat terhubung dengan pin ADC ESP 32 yang sama sesuai kebutuhan masing-masing. IC quad memerlukan 4 pin ADC, yang di beri label ADC1, ADC2, ADC3, dan ADC4. IC single hanya memerlukan ADC1, dan IC dual menggunakan 2 pin ADC yaitu ADC2 dan ADC3. Hubungan pin untuk masing-masing jenis IC dapat dilihat secara lebih lanjut pada gambar 5.



Gambar 5. Pengaturan *zif socket* untuk dudukan IC

Sumber tegangan diperlukan oleh Op-Amp agar dapat bekerja dan menghasilkan sinyal keluaran. Masing-masing tipe Op-Amp memiliki karakteristik kebutuhan tegangan yang berbeda-beda, ada yang perlu *single supply*, namun ada pula yang memerlukan *dual supply* (+ dan -) agar bisa bekerja. Namun agar alat dapat digunakan untuk menguji beberapa jenis dan tipe IC Op-Amp, maka dipilih *dual supply* karena secara umum, semua IC Op-Amp dapat dioperasikan pada moda *dual supply* (+ dan -). Sebagai sumber tegangan, digunakan baterai lithium 3,7V dengan kapasitas 2000 mAh. Saklar digunakan untuk menghubungkan dan memutus rangkaian atau menyalakan dan mematikan alat. Gambar rangkaian *supply* tegangan Op-Amp tester dapat dilihat pada gambar 6.

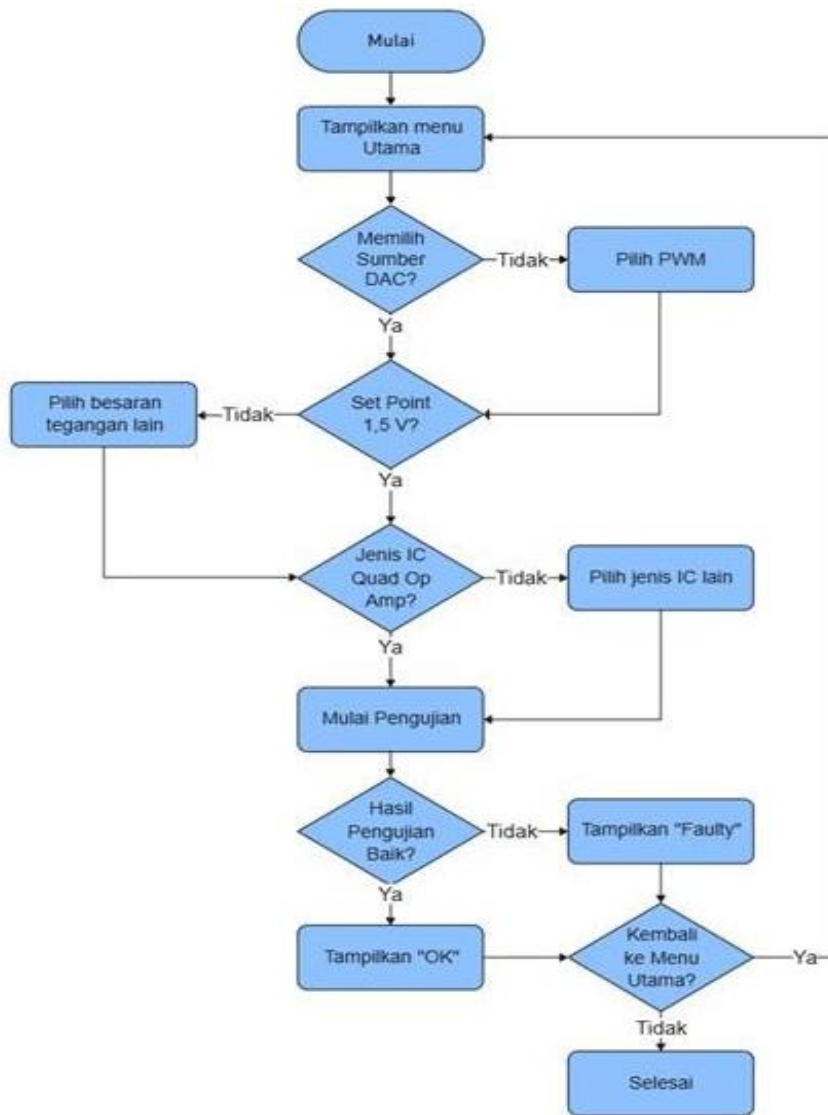


Gambar 6. Gambar rangkaian sumber tegangan Op-Amp tester

Pengisian daya baterai lithium dilakukan dengan tambahan modul pengisi daya TP4056 (tipe-C). Modul TP4056 digunakan sebagai charger dengan tegangan kerja 4,5V hingga 5V dan dilengkapi dengan indikator pengisian daya baterai serta dilengkapi sistem proteksi (Budiyanta et al., 2019).

Mengingat tegangan baterai yang digunakan adalah 3.7V, maka diperlukan modul *boost converter* untuk menaikkan tegangan dari 3.7V menjadi 5V. *Boost converter* merupakan pengubah untuk menaikkan tegangan DC dan biasa digunakan untuk keperluan *power supply* (Prianto et al., 2020). Sebagai keluaran *boost converter*, akan didapatkan tegangan +5V untuk *supply* ESP32 maupun untuk *supply* Op-Amp.

Selanjutnya diperlukan tegangan negative (-) 5V untuk *supply* IC Op-Amp. Untuk beberapa aplikasi diperlukan tegangan keluaran DC teregulasi untuk mendapatkan ground keluaran yang berbeda sebagai sumber tegangan DC independen (Sutikno & Purnama, 2020). Maka digunakan komponen tambahan yang mampu mengisolasi tegangan +5V menjadi tegangan -5V yaitu komponen DC Isolated B0505S. Pengembangan program untuk pengujian IC secara umum mengacu pada diagram alir yang dapat dilihat pada gambar 7

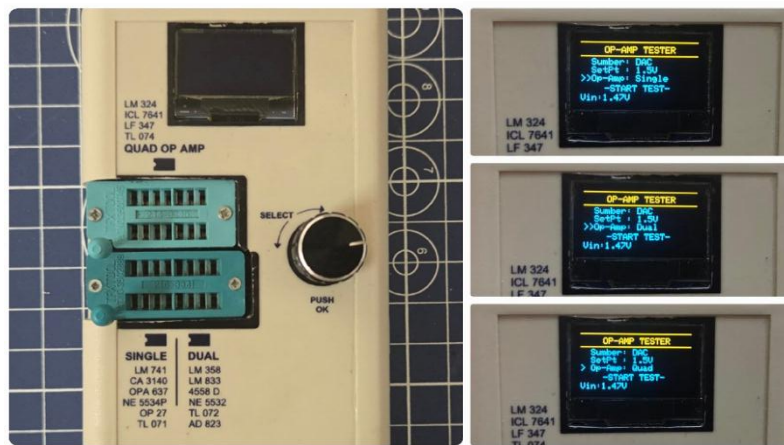


Gambar 7. Diagram alir program pengujian IC Op-Amp

Saat alat dinyalakan, maka akan muncul tampilan menu utama yang terdiri dari sumber masukan, set point nilai tegangan, dan pemilihan jenis IC yang akan diuji. Tampilan standar sumber masukan adalah dari DAC, namun pengguna dapat memilih alternatif mode lain yaitu PWM. Set point tegangan standar adalah 1.5 V, namun pengguna dapat memilih besaran tegangan lain dari rentang 0.5 hingga 2.5 V sebagai masukan. Jenis IC Op-Amp yang ditampilkan secara bawaan adalah quad, namun pengguna dapat memilih jenis IC lain yaitu single atau dual. Setelah semua parameter dipilih, pengguna dapat memberikan perintah mulai pengujian. Selanjutnya alat akan memproses pengujian dan menampilkan status, apakah Op-Amp dalam keadaan baik atau tidak. Pengujian selesai, dan pengguna dapat Kembali ke menu utama untuk melakukan pengujian lainnya

B. Hasil Pengembangan Alat

Op-Amp tester berbasis ESP32 berhasil dibuat sesuai kriteria yang telah direncanakan. Alat dapat digunakan untuk menguji IC Op-Amp dengan tipe single, dual dan quad. Terdapat *zif socket* dan menu pengujian yang dapat dipilih untuk pengujian setiap tipe IC seperti terlihat pada gambar 8.



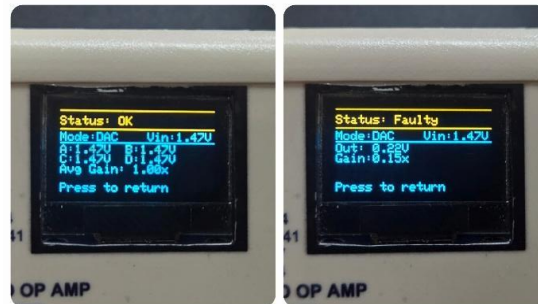
Gambar 8. Tersedia *zif socket* dan menu pengujian IC Op-Amp single, dual, dan quad

Alat mampu beroperasi mandiri tanpa bantuan alat lain dari luar. Op-Amp tester dilengkapi dengan pembangkitan sinyal referensi atau masukan Op-Amp menggunakan pin DAC pada ESP 32, serta baterai internal dengan tegangan 3.7 V dan kapasitas 2.000 mAh sehingga dapat dioperasikan tanpa perlu pembangkit sinyal dan catu daya tambahan. Baterai dapat diisi ulang dengan menghubungkan menggunakan charger 5V 2A melalui USB tipe-C yang tersedia.



Gambar 9. USB Tipe-C untuk pengisian ulang daya baterai disertai lampu indikator

Alat dapat menampilkan kesimpulan IC berfungsi dengan baik atau tidak secara langsung. Tampilan hasil pengujian pada bagian atas terdapat Kesimpulan status IC yang sedang diuji. Saat IC dalam keadaan baik, maka akan muncul status “OK”, dan saat IC yang diuji dalam keadaan rusak atau tidak baik, maka akan muncul status “Faulty”.



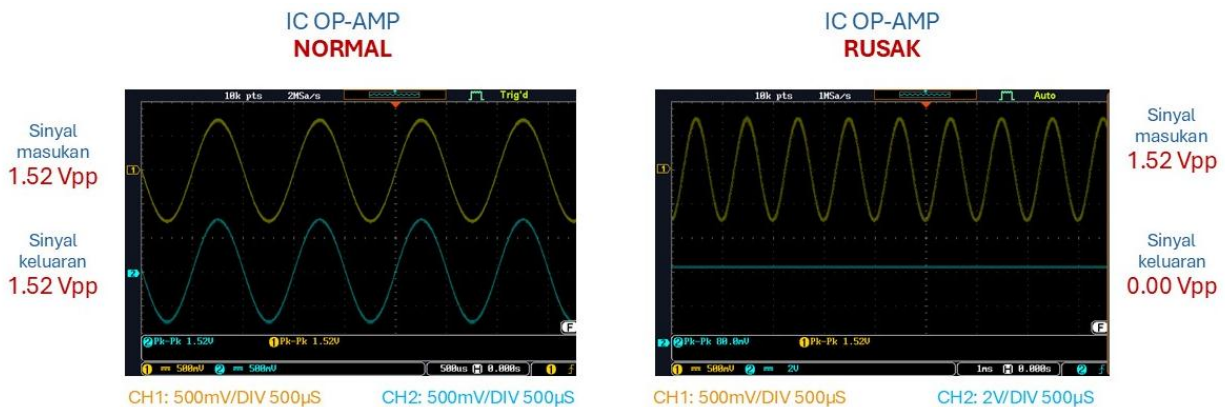
Gambar 10. Tampilan status hasil pengujian “OK” dan “Faulty”

C. Pengujian Alat

Setelah Op-Amp tester portabel berbasis ESP32 selesai dibuat, selanjutnya dilakukan beberapa pengujian untuk memastikan alat berfungsi dengan baik. Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah pengujian fungsi alat, dan pengujian daya tahan alat.

1. Pengujian Fungsi Alat

Pengujian fungsi alat dilakukan dengan menggunakan Op-Amp tester untuk menguji keandalan IC Op-Amp yang sebelumnya telah diuji dengan menggunakan osiloskop dan rangkaian pengujian manual sehingga dapat diketahui IC tersebut dalam keadaan baik (OK) atau rusak (faulty). Berikut adalah hasil tampilan layar osiloskop yang menunjukkan perbedaan antara sinyal masukan dan sinyal keluaran Op-Amp dalam keadaan baik atau normal, dan dalam keadaan rusak.



Gambar 11. Tampilan osiloskop hasil pengujian IC Op-Amp baik dan rusak

Pengujian pada IC Op-Amp dengan kondisi baik, menunjukkan nilai sinyal keluaran sama dengan nilai sinyal masukannya, yaitu sebesar 1,52 Vpp. Sedangkan pada IC Op-Amp dengan kondisi rusak, sinyal masukan terbaca 1,52 Vpp, namun sinyal keluaran terbaca 0 Vpp. Pengujian serupa dilakukan terhadap Op-Amp lain yang akan digunakan untuk menguji fungsi Op-Amp tester.

Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap 12 buah sample IC yang terdiri dari masing-masing 4 buah IC LM741(single), LM358 (dual), dan LM324 (quad). Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Table 1: Data hasil pengujian fungsi

Type IC	Kondisi aktual	Hasil uji	Kesesuaian hasil
LM 741	Baik	OK	Sesuai
LM 741	Baik	OK	Sesuai
LM 741	Rusak	Faulty	Sesuai
LM 741	Rusak	Faulty	Sesuai
LM 358	Baik	OK	Sesuai
LM 358	Baik	OK	Sesuai
LM 358	Rusak	Faulty	Sesuai
LM 358	Rusak	Faulty	Sesuai
LM 324	Baik	OK	Sesuai
LM 324	Baik	OK	Sesuai
LM 324	Rusak	Faulty	Sesuai
LM 324	Rusak	Faulty	Sesuai

Berdasarkan data tersebut, didapatkan hasil pengujian fungsi Op-Amp Tester dengan Tingkat akurasi hasil pengujian sebesar **100%**, pada tipe IC Op-Amp single, dual maupun quad.

2. Pengujian Daya Tahan

Pengujian daya tahan dilakukan dengan sample berupa 2 buah IC LM 324 (1 kondisi baik, 1 kondisi rusak), yang dimulai pada kondisi baterai terisi penuh. Dilakukan pengujian aktif, yaitu pengujian IC dengan menggunakan alat secara berulang kali dalam durasi tertentu. Kemudian ada pengujian pasif, yang berarti alat dinyalakan dalam kondisi siaga atau *standby* tanpa digunakan untuk menguji IC. Tidak dilakukan pengisian ulang daya selama periode pengujian tersebut sampai dengan daya baterai habis. Hasil pengujian dapat diamati pada tabel 2.

Table 2: Data hasil pengujian daya tahan

Pengujian Ke-	Durasi uji pasif (menit)	Durasi uji aktif (menit)	Frekuensi uji (kali)	Kesalahan hasil uji (kali)	Akurasi hasil pengujian (%)
1	60	60	184	0	100
2	60	60	196	0	100
3	60	60	177	0	100
4	60	60	199	0	100
5	60	60	187	0	100
6	60	60	190	0	100
7	60	60	200	0	100
8	60	60	186	0	100
9	60	60	188	0	100
10	60	60	190	0	100
11	-	24	88	0	100
	600	624	1985	0	100

Berdasarkan data hasil pengujian daya tahan, dapat dilihat bahwa alat Op-Amp tester mampu bertahan selama 624 menit atau lebih dari 10 jam untuk pengujian aktif, ditambah 600 menit atau 10 jam waktu siaga (*standby*) tanpa pengujian aktif dalam satu siklus pengisian baterai. Selama durasi tersebut, dapat dilakukan pengujian untuk lebih dari 1900 buah IC Op-Amp. Akurasi hasil pengujian dari awal hingga akhir menunjukkan angka 100%, sehingga dapat dikatakan tidak ada penurunan performa selama masa pengujian

KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, pengembangan, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Op-Amp tester yang dibuat memiliki bentuk portabel dan mampu beroperasi menggunakan catu

daya serta pembangkitan sinyal internal. Alat ini juga dilengkapi layar untuk menampilkan hasil pengujian dengan keterangan status kondisi IC, yaitu “OK” atau “Faulty”. Selain itu, Op-Amp tester dapat digunakan untuk menguji IC dengan tipe konfigurasi single, dual, maupun quad dengan tingkat akurasi yang sangat baik, yaitu mencapai 100%. Baterai yang digunakan mampu bertahan lebih dari ±10 jam penggunaan aktif dan ±10 jam waktu siaga, serta dapat mendukung lebih dari 1900 kali pengujian IC dalam satu kali siklus pengisian daya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada segenap pimpinan dan rekan sejawat di Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi yang telah mendukung penelitian ini sehingga dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Baharudin, B., R. Fernandes, H. Andre, & A. Luthfi. 2021. Rancang Bangun Alat Uji IC Linear sebagai Upaya Meningkatkan Usaha Tukang Service Elektronika. *Jurnal Andalas: Rekayasa dan penerapan Teknologi*. 2(1): 21-24. DOI: 10.25077/jarpet.v2i1.17
- Budiyanta, N. E., Wishnu, M. C., W, D. R., & Lukas, L. (2019). Perancangan Fidget Device Berbasis Internet Of Things. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*. 21(1): 1–8. doi.org/10.24912/tesla.v21i1.3241
- Enny, E. 2018. Optimalisasi Penggunaan Alat Praktikum Power Supply Switching dengan Menggunakan Topologi Half Bridge Konverter sebagai Alat Bantu Praktikum Elektronika Analog. *METANA*. 12(1): 1-8. doi.org/10.14710/metana.v12i1.17509
- Espressif Systems. 2025. ESP32-WROOM-32 Datasheet Version 3.5. Tersedia: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf [Diakses 14 April 2025]
- Kumngern, M., F. Khateb, & T. Kulej. 2024. Low-Voltage Mixed-Mode Analog Filter Using Multiple-Input Multiple-Output Operational Transconductance Amplifiers. in *IEEE Access*. 12: 51073-51085. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3385498.
- Nugraha, W.N., T. S. Solli, & A. Amir. 2019. Rancang bangun Modul Praktikum Aplikasi Op-Amp Berbasis IC 741 dan IC 301. *Foristek: Forum Teknik Elektro dan Informasi*. 9(1): 15-22. doi.org/10.54757/fs.v9i1.65
- Pauzan, M. 2019. Rancangan Alat Indikator Level Tegangan Baterai Berbasis Operational Amplifier (Op Amp). *Teknokom: Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sistem Komputer*. 2(1): 11–16. doi.org/10.31943/teknokom.v2i1.26
- Prianto, E., N. Yuniarti, & D. C. Nugroho. 2020. Boost-Converter sebagai Alat Pengisian baterai pada Sepeda Listrik Secara Otomatis. *Jurnal Edukasi Elektro*. 4(1): 52-62. doi: 10.21831/jee.v4i1.32632
- Isas, R. 2018. Analisis Karakterisasi Op-Amp Menggunakan Virtual Instrument. *EPIC: Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control*. 1(2): 194-201. <https://doi.org/10.32493/epic.v1i2.1483>
- Saputro, M. N. A., Kasiyanto, M. Syafaat, & D. Widiatmoko. 2024. Rancang bangun Modul pembelajaran Aplikasi Op-Amp Berbasis IC 741 dan IC TL 084 untuk Praktikum Perancangan Elektronika. *Edu Elektrika Journal*. 12(1): 23-31. <https://doi.org/10.15294/adv03j70>
- Setiawan, F.B., P. Kariman, L. H. Pratomo, & S. Riyadi. 2024. Analysis of Second-Order HPF and LPF Circuit Simulations as Digital Signal Amplification Filters. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*. 24(2): 102-107. doi.org/10.23917/emitor.v24i2.2954
- Sutikno, T., & H. S. Purnama. 2020. Konverter DC-DC: Prinsip dan Aplikasi. Yogyakarta: UAD Press.
- Sutrisno, S. 1987. Elektronika: Teori Dasar dan Penerapannya, jilid 2. Bandung: Penerbit ITB.
- Thiagarajan, S., D. S. Semmel, & M. I. Semmel. 1974. Instructional Development For Training Teachers Of Exceptional Children: A Sourcebook. In Indiana University : Bloomington, Indiana. [https://doi.org/10.1016/0022-4405\(76\)90066-2](https://doi.org/10.1016/0022-4405(76)90066-2)

Wardhana, A.W., M. S., Aliim, & A. Mubyarto. 2022. Analog Filter Wizard Design Tool for Assisting Students in Designing an Active-RC Filter Circuit. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*. 24(4): 121-132. <https://doi.org/10.14710/transmisi.24.4.121-132>