



Modul Trainer Binary Weighted dan R2R Ladder untuk Praktikum Elektronika Digital

Dodi Budiman Margana ^{a,1}, Nurista Wahyu Kirana ^{a,2,*}, Yana Sudarsa ^{a,3}

^a Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Indonesia

¹ dodi.budiman@polban.ac.id; ² nurista.wahyu@polban.ac.id*; ³ yana.sudarsa@polban.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO	ABSTRAK
Article History Submission : 23-07-2025 Revision : 06-08-2025 Accepted : 20-08-2025 Kata Kunci: Elektronika digital; Binary weighted; R-2R Ladder, Modul trainer, DAC	Konversi data digital ke analog merupakan salah satu aspek fundamental dalam sistem elektronika modern, terutama dalam komunikasi, pemrosesan sinyal, dan instrumentasi. <i>Digital to Analog Converter</i> (DAC) menjadi komponen kunci dalam berbagai aplikasi, mulai dari sistem audio hingga kendali industri. Dalam ranah akademik, pemahaman tentang DAC sangat penting bagi mahasiswa teknik elektronika dan bidang terkait guna memahami bagaimana sinyal digital dapat diubah menjadi bentuk analog yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi. Namun, dalam proses pembelajaran, di laboratorium mengalami keterbatasan dalam menyediakan perangkat praktik yang memadai, terutama untuk memahami prinsip kerja dua jenis DAC yang umum digunakan, yaitu <i>Binary weighted</i> DAC dan <i>R-2R Ladder</i> DAC. Ketiadaan modul trainer yang sistematis dan mudah digunakan, sering kali menyebabkan mahasiswa kesulitan dalam memahami konsep dasar konversi digital ke analog secara praktis. Penelitian ini bertujuan untuk membuat modul trainer DAC berbasis metode <i>Binary weighted</i> dan <i>R-2R Ladder</i> yang dapat digunakan dalam praktikum Elektronika Digital, serta menganalisis performanya dalam hal akurasi, linearitas, dan kestabilan keluaran. Hasil pengujian kedua modul, didapatkan nilai selisih output antara BWR dan R2R Ladder adalah 0 sampai dengan 0,06 V dengan rata-rata selisih outputnya adalah 0,028 V. Penelitian ini dapat memberikan hasil sesuai dengan prinsip kerja dan teori BWR dan R2R Ladder, sehingga dapat memberikan kontribusi dan solusi pembelajaran yang lebih efektif terutama untuk mata kuliah praktikum elektronika digital serta meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang proses <i>Digital to Analog Converter</i> (DAC). This is an open access article under license CC-BY-SA. 

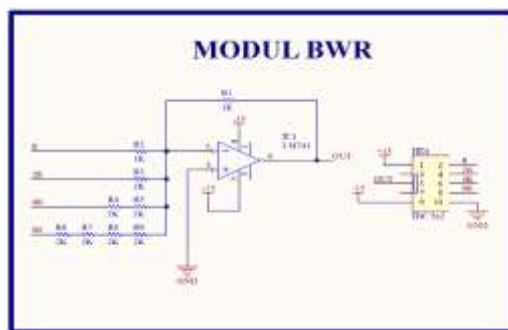
1. Pendahuluan

Salah satu tantangan utama dalam elektronika digital adalah konversi data digital menjadi sinyal analog yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pemrosesan sinyal audio, sistem kontrol industri, dan komunikasi [1]. *Digital to Analog Converter* (DAC) adalah

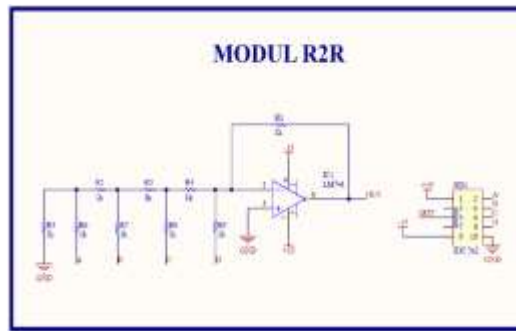
komponen utama dalam sistem yang berfungsi untuk mengubah data digital menjadi sinyal analog yang dapat diinterpretasikan oleh perangkat analog [2]. Digital to Analog Converter (DAC) adalah komponen penting dalam sistem komunikasi nirkabel modern [2] [3]. Dua metode umum dalam desain DAC adalah Binary weighted Resistor dan R-2R Ladder, yang masing-masing memiliki karakteristik, kelebihan, dan kelemahan tersendiri dalam hal akurasi, kompleksitas, dan efisiensi biaya [4]. Meskipun pada berbagai penelitian binary weighted DAC menawarkan persentase kesalahan yang lebih rendah (0,267%) dibandingkan dengan rangkaian tangga R-2R (4,16%), namun dengan metode tersebut memiliki kelemahan yaitu membutuhkan berbagai nilai resistansi. Di sisi lain, R-2R Ladder lebih praktis untuk desain sirkuit karena pemilihan resistor yang lebih mudah [6]. Kedua desain tersebut menghadapi tantangan dengan gangguan yang disebabkan oleh perubahan bit input yang cepat, yang mengarah ke masalah noise [5] [6] [9]. Perbedaan antara karakteristik pada dua metode tersebut selama ini hanya diketahui melalui teori dan simulasi oleh mahasiswa tanpa adanya pemahaman praktis sehingga mahasiswa kurang mengetahui dengan jelas proses konversi sinyal digital menjadi sinyal analog. Dalam pembelajaran teknik elektronika, pemahaman mengenai prinsip kerja DAC menjadi bagian penting dalam kurikulum dan merupakan capaian pembelajaran praktikum dari mata kuliah elektronika digital. Lulusan yang kompeten hanya dapat dihasilkan dari suatu proses yang didukung komponen-komponen penunjang yang sesuai, antara lain daya dukung peralatan yang ada di laboratorium. Namun, keterbatasan fasilitas laboratorium dan minimnya modul trainer yang tersedia sering menjadi kendala dalam pengajaran. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan modul trainer DAC berbasis Binary weighted dan R-2R Ladder yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran dalam praktikum Elektronika Digital. Dengan adanya modul trainer ini, diharapkan mahasiswa dapat lebih memahami cara kerja, performa, serta kelebihan dan kekurangan masing-masing metode DAC. Selain itu, mahasiswa dapat melakukan eksperimen langsung dan memahami konsep DAC secara lebih mendalam melalui pendekatan praktis.

2. Metode Penelitian

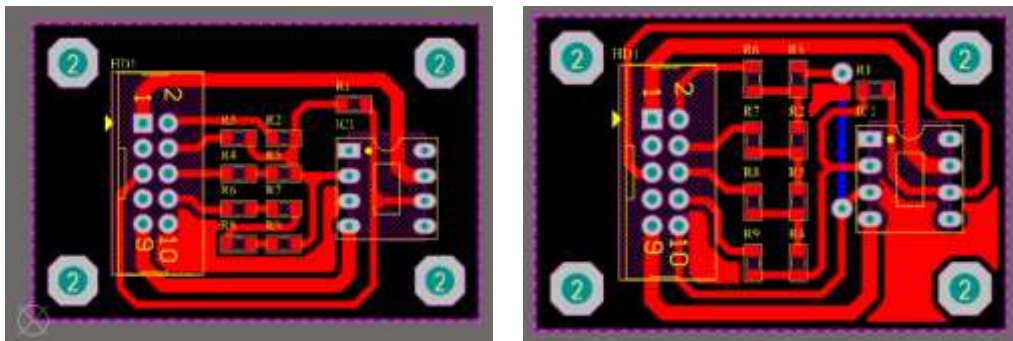
Sebelum membuat modul, langkah yang dilakukan adalah desain rangkaian. Rangkaian yang telah didesain kemudian disimulasikan dengan menggunakan software. Setelah berhasil disimulasikan, langkah selanjutnya yaitu difabrikasi dan dilakukan pengujian terhadap modul yang telah dibuat. Desain rangkaian modul BWR dan R2R Ladder dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Desain rangkaian BWR

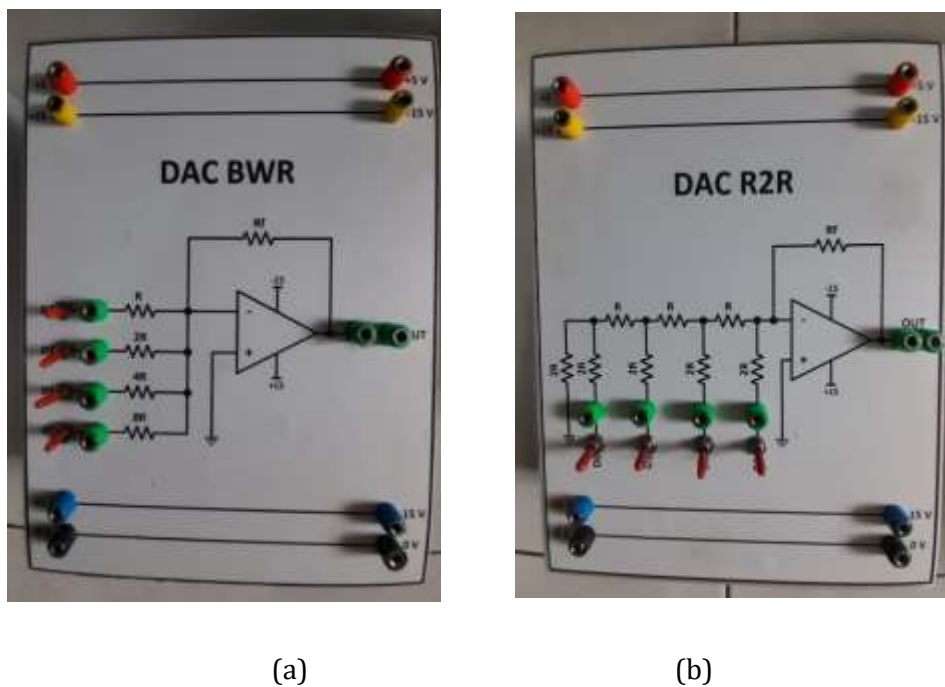


Gambar 2. Desain rangkaian R2R Ladder



Gambar 3. Desain *layout circuit* untuk modul BWR dan R2R Ladder

Setelah dilakukan fabrikasi, maka didapatkan modul BWR dan R2R ladder seperti yang terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Modul yang telah difabrikasi (a) modul BWR (b) R2R Ladder

Langkah selanjutnya yaitu pengujian modul BWR dan R2R *Ladder*. Peralatan dan komponen yang perlu disiapkan adalah modul BWR dan R2R *Ladder* seperti pada Gambar 4. Selain itu digunakan juga osiloscope, generator sinyal, multimeter dan kabel penghubung. Pada pengujian rangkaian BWR, diberikan catu daya pada rangkaian atau modul sesuai dengan kebutuhan kemudian diberikan besaran logika sesuai kombinasi 4 bit. Pengamatan dilakukan dengan memberikan frekuensi 1kHz pada input *clock* dari sumber pulsa atau generator sinyal. Demikian pula dengan modul R2R *Ladder* dilakukan hal yang sama.

3. Hasil dan Pembahasan

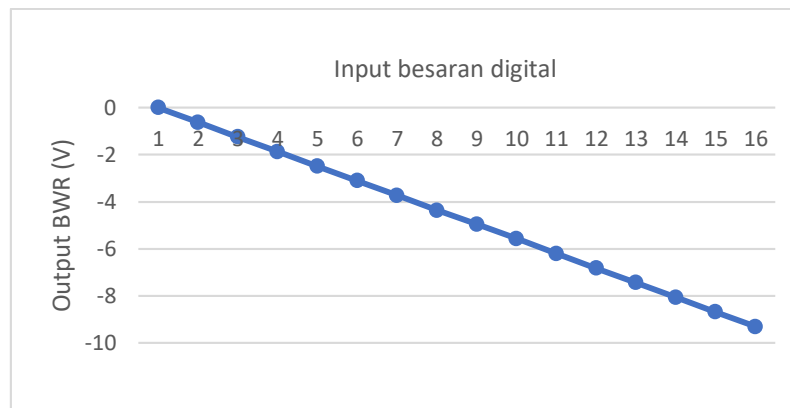
Pengujian modul BWR dan R2R *Ladder* 4-bit ini melibatkan pemberian berbagai kombinasi kode biner 4-bit (0000 hingga 1111) dan pengukuran tegangan keluaran analog yang dihasilkan. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, diperoleh nilai hasil seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil percobaan modul BWR DAC

Percobaan Rangkain BWR				
Input Besaran Digital				Tegangan Output Analog (V)
D3	D2	D1	D0	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	-0,62
0	0	1	0	-1,25
0	0	1	1	-1,87
0	1	0	0	-2,49
0	1	0	1	-3,11
0	1	1	0	-3,73
0	1	1	1	-4,36
1	0	0	0	-4,95
1	0	0	1	-5,57
1	0	1	0	-6,2
1	0	1	1	-6,82
1	1	0	0	-7,44
1	1	0	1	-8,06
1	1	1	0	-8,68
1	1	1	1	-9,31

Tabel 1 menunjukkan hasil yang diperoleh dari rangkaian resistor berberat biner DAC. Tabel ini mencakup tegangan keluaran ideal dan tegangan keluaran aktual dari masukan digital yang diberikan. Nilai *Least Significant Bit* (LSB) adalah -0,62 V pada bit 0000 dan nilai tegangan outputnya sebesar -9,31 V pada kombinasi bit 1111. Modul 4-bit binary weighted resistor DAC (Digital-to-Analog Converter) mengubah kode biner 4-bit menjadi tegangan analog. Hasil pengujian akan menunjukkan keluaran tegangan yang berbeda-beda sesuai dengan kombinasi kode biner yang dimasukkan. Semakin tinggi kode biner, semakin tinggi tegangan keluaran analognya. Namun, perlu diperhatikan bahwa modul ini rentan terhadap toleransi resistor, yang dapat mempengaruhi akurasi keluaran, terutama pada resolusi bit yang lebih tinggi.

Karakteristik transfer DAC menunjukkan hubungan antara kode biner masukan dan tegangan keluaran analog.



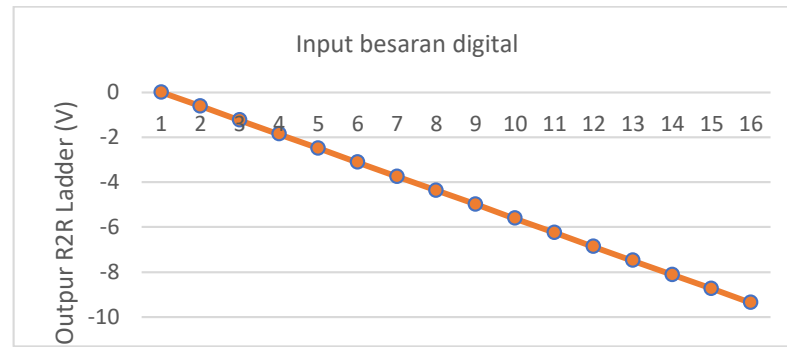
Gambar 5. Grafik output BWR

Hasil pengujian selanjutnya yaitu uji coba pada modul R2R Ladder seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil percobaan modul R2R Ladder

Percobaan Rangkain R2R Ladder				
Input Besaran Digital				Tegangan Output Analog (V)
D3	D2	D1	D0	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	-0,62
0	0	1	0	-1,25
0	0	1	1	-1,87
0	1	0	0	-2,50
0	1	0	1	-3,12
0	1	1	0	-3,75
0	1	1	1	-4,37
1	0	0	0	-4,99
1	0	0	1	-5,62
1	0	1	0	-6,24
1	0	1	1	-6,87
1	1	0	0	-7,49
1	1	0	1	-8,12
1	1	1	0	-8,74
1	1	1	1	-9,37

Tabel 2 menunjukkan bahwa Rangkaian R-2R DAC 4-bit memberikan performa stabil dan linear dalam mengubah sinyal digital menjadi tegangan analog. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai dari biner 0000 sampai dengan biner 1111 dari 0 V sampai dengan -9,37 V. Grafik output R2R Ladder dapat dilihat pada Gambar 6.



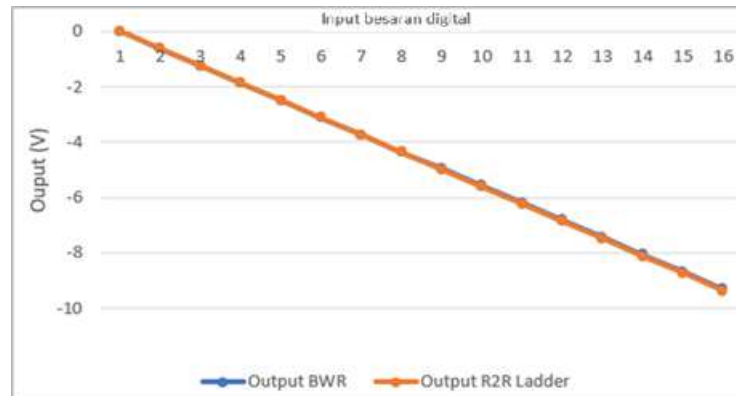
Gambar 6. Grafik output R2R Ladder

Perbandingan antara output BWR dan R2R Ladder memiliki selisih seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Selisih Output BWR dan R2R Ladder

Input Besaran Digital				Output R2R Ladder (V)	Output BWR (V)	Selisih Output (V)
D3	D2	D1	D0			
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	-0,62	-0,62	0
0	0	1	0	-1,25	-1,25	0
0	0	1	1	-1,87	-1,87	0
0	1	0	0	-2,50	-2,49	0,01
0	1	0	1	-3,12	-3,11	0,01
0	1	1	0	-3,75	-3,73	0,02
0	1	1	1	-4,37	-4,36	0,01
1	0	0	0	-4,99	-4,95	0,04
1	0	0	1	-5,62	-5,57	0,05
1	0	1	0	-6,24	-6,2	0,04
1	0	1	1	-6,87	-6,82	0,05
1	1	0	0	-7,49	-7,44	0,05
1	1	0	1	-8,12	-8,06	0,06
1	1	1	0	-8,74	-8,68	0,06
1	1	1	1	-9,37	-9,31	0,06

Dari Tabel 3 didapatkan nilai selisih output antara BWR dan R2R Ladder adalah 0 sampai dengan 0,06 V dengan rata-rata selisih outputnya adalah 0,028 V. Grafik perbandingan output antara BWR dan R2R Ladder dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik perbandingan output BWR dan R2R Ladder

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah dilakukan dengan membuat modul pembelajaran *Digital to Analog Converter* (DAC) untuk praktikum elektronika digital. Hasil pengujian modul BWR menunjukkan keluaran tegangan yang berbeda-beda sesuai dengan kombinasi kode biner yang dimasukkan, begitu juga dengan modul R-2R DAC memberikan performa stabil dan linear dalam mengubah sinyal digital menjadi tegangan analog. Rata-rata selisih antara output BWR dan R2R Ladder yang didapatkan sebesar 0,028 V. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam menyediakan solusi pembelajaran yang lebih efektif terutama untuk mata kuliah praktikum elektronika digital.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Jaquot, *Modern Digital Control Systems*, New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2015.
- [2] N. Kadarisman dan D. Rosana, "Pembuatan Adc (Analog To Digital Converter) Untuk Rancang Bangun Instrumentasi Temperatur Tinggi Menggunakan Prinsip Defleksi Laser He-Ne Sebagai Bagian Dari Sistem Kendali Operasi Di Bidang Industri," vol. 13, 2010.
- [3] J. Diosanto, M. Batac, K. Pereda dan R. Caldo, "4-bit digital to analog converter using R-2R ladder and binary weighted resistors," dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics Publishing*, 2017.
- [4] U. Rochayati dan Suprpto, "Keefektifan Trainer Digital Berbasis Mikrokontroler Dengan Model Briefcase Dalam Pembelajaran Praktik Di SMK," *Jurnal Kependidikan*, vol. 44, no. 2, pp. 127-138, 2014.
- [5] P. Whig, "Simulation & performance analysis of various R2R D/A converter using various topologies," *International Robotics & Automation Journal*, vol. 4, no. 2, 2018.
- [6] N. Lekic dan Z. Mijanovic, "Binary weighted DAC with 2- ξ resistor ratio," *Radioengineering*, vol. 27, no. 2, pp. 501-509, 2018.

- [7] F. Pangerang dan K. Abdul, "Perancangan Modul Trainer Analog Digital Converter (ADC) Pada System Digital Berbasis Lab View," dalam *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M)*, 2018.
- [8] A. Widodo dan F. Baskoro, "Implementasi Rangkaian R-2R Ladder DAC dengan Optimisasi Linearitas Menggunakan Algoritma Genetika," dalam *Seminar Nasional Teknik Elektro*, Malang, 2018.
- [9] H. Aulia dan M. Hafeez, "Interactive Learning Media in Enhancing Student Engagement and Academic Achievement," *UMMAT Scientific Journal*, vol. 1, 2024.
- [10] F. Mohamed dan A. Emara, "Detection of Catastrophic Faults in 6-Bit R-2R Ladder DAC," dalam *International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*, 2023.
- [11] P. Whig, "Comparison analysis of various R2R D/A converter," *International Journal Biosensor Bioelectron*, vol. 4, no. 6, pp. 275-279, 2018.
- [12] M. Hirai dan H. Tanimoto, "Digital-to-Analog Converter Configuration Based on Non-uniform Current Division Resistive-Ladder," dalam *36th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC)*, 2021.
- [13] K. Vamsee dan R. Chandra, "DESIGN OF AN ENHANCED PERFORMANCE DIGITAL TO ANALOG CONVERTER," dalam *INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD AND NUTRITIONAL SCIENCES*, 2012.
- [14] D. Rao dan K. Rama, "Design of 10 Bit R/2r Digital To Analog Converter In 180nm CMOS Technology," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, no. 10, 2015.
- [15] F. Agayev dan J. Karimov, "Design principles of digital-to-analog conversion in information transformation," *Technology audit and production reserves*, pp. 18-21, 2022.