

Analisis Rangkaian Komparator dengan Variasi IC Op-Amp yang Tersedia pada Circuit Wizard

Gita Alisroba¹, Hani Nur Asri², Makna A'raaf Kautsar³, Muhammad Satrio Dwi Utomo⁴,
Muntaha Hasanah⁵, Vina Fujiyanti⁶

^{1,2,3,4,5,6} Universitas Pendidikan Indonesia

e-mail: gitanazareth63@upi.edu¹, haninurasri@upi.edu², maknaak@upi.edu³,
muhammadsatrio30@upi.edu⁴, muntaha26@upi.edu⁵, vinafujiyanti@upi.edu⁶

Diterima: 29-12-2021

Disetujui: 10-05-2022

Diterbitkan: 10-08-2022

Abstract

This research was conducted on the Circuit Wizard simulator application to simplify the students, especially in the field of Telecommunications Systems, Indonesia Education University, Purwakarta for understanding of the characteristics of each Operational Amplifier with a comparator circuit. In addition, this article presented and tested a comparator circuit to compare the results of two voltages, namely inverting and non-inverting Op Amps. The method used in the research, by making a comparator circuit with 10 different types of Operational Amplifiers. This is carried out to get more valid comparison result and the simulation is run for six times. The simulation was conducted in two comparison conditions with a $V_{in}(+)$ value of 6V, a predetermined $V_{in}(-)$ value and a DC voltage flowing of 12V. The results of the analysis through simulations with 10 types of Operational Amplifiers produced different outputs. In principle, it can be influenced by $V_{rail-to-rail}$, intrinsic circuit, Z_{in} , Z_{out} , P_{in} and the different characteristics of each Operational Amplifier model. As a comparison, based on its characteristics, the LM741 data sheet has a value of $V_s = \pm 15$ V (output voltage swing) if $R_L = 10$ k Ω and $R_L = 2$ k Ω . Whereas in the data sheet LM258 has a value of $V_S = 30$ V if $R_L = 2$ k Ω , $V_S = 30$ V if $R_L = 10$ k Ω , $V_S = 5$ V if $R_L = 2$ k Ω for positive rail, and $V_S = 5$ V if $R_L = 10$ k Ω for negative rails. It can be concluded that the Circuit Wizard software makes it easy to simulate the comparator circuit, so it suggested to be simulated on other materials.

Keywords: Operational Amplifier, Comparator Circuit, Circuit Wizard

Abstrak

Penelitian ini dilakukan pada aplikasi simulator *Circuit Wizard* untuk memudahkan mahasiswa khususnya bidang Sistem Telekomunikasi Universitas Pendidikan Indonesia Purwakarta untuk lebih memahami karakteristik dari masing-masing *Operational Amplifier* dengan rangkaian komparator. Selain itu, artikel ini menyajikan dan menguji rangkaian komparator untuk membandingkan hasil dari dua buah tegangan yaitu *inverting* dan *non-inverting* Op Amp. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan membuat rangkaian komparator dengan 10 jenis *Operational Amplifier* yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil perbandingan yang lebih valid dan simulasi yang dilakukan sebanyak enam kali berturut-turut. Simulasi dijalankan pada dua kondisi pembandingan dengan nilai $V_{in}(+)$ sebesar 6V, nilai $V_{in}(-)$ yang telah ditentukan dan tegangan DC yang mengalir sebesar 12V. Hasil analisis melalui simulasi dengan 10 jenis *Operational Amplifier* menghasilkan output yang berbeda-beda. Pada prinsipnya hal tersebut dapat dipengaruhi oleh $V_{rail-to-rail}$, rangkaian intrinsik, Z_{in} , Z_{out} , P_{in} dan karakteristik yang berbeda-beda dari masing-masing model *Operational Amplifier*nya. Sebagai pembandingan jika dilihat pada karakteristiknya, dalam data sheet LM741 memiliki nilai $V_s = \pm 15$ V (*output voltage swing*) jika $R_L \geq 10$ k Ω dan $R_L \geq 2$ k Ω . Sedangkan dalam data sheet LM258 memiliki nilai $V_S = 30$ V jika $R_L = 2$ k Ω , $V_S = 30$ V jika $R_L \geq 10$ k Ω , $V_S = 5$ V jika $R_L \geq 2$ k Ω untuk rail positif, dan $V_S = 5$ V jika $R_L \leq 10$ k Ω untuk rail negatif. Dapat disimpulkan bahwa software *Circuit Wizard* memudahkan dalam mensimulasikan rangkaian komparator sehingga penggunaannya dapat disimulasikan pada materi lainnya.

Kata kunci: Operational Amplifier, Rangkaian Komparator, Circuit Wizard,

Pendahuluan

Pandemi COVID-19 di Indonesia yang tidak kunjung mereda, membuat semua aktivitas beralih ke rumah, termasuk kegiatan belajar-mengajar (Azzahra, 2020). Para pengajar baik guru, maupun dosen harus mencari cara bagaimana kegiatan belajar-mengajar ini tetap dapat dilakukan secara efektif dan efisien. Salah satu caranya yaitu dengan menggunakan media *online*, seperti *zoom meeting*, *google meeting*, *group chat* dan lainnya (Daniel, 2020). Pada perkuliahan di lingkungan universitas, khususnya untuk menunjang mata kuliah rangkaian listrik, tenaga pengajar dituntut untuk pembelajaran secara daring dengan menggunakan bantuan simulator-simulator *online* dan *offline* yang dapat diakses oleh semua kalangan, baik siswa, mahasiswa, maupun pengajar. Pada penelitian ini, dipilih simulator *circuit wizard* yang bersifat *offline* namun harus menggunakan dengan mengunduh terlebih dahulu dan memasangnya di PC masing-masing dosen (Bahasoan dkk., 2020).

Pemanfaatan simulator ini sangat direkomendasikan untuk mata kuliah yang memerlukan adanya pembelajaran praktik langsung. Dalam penelitian ini, akan dibahas cukup detail mengenai penggunaan simulator *circuit wizard*. Diharapkan hasil penelitian ini bermanfaat untuk penelitian lainnya yang menggunakan simulator *circuit wizard* terutama dalam mensimulasikan rangkaian komparator (Wahyuni, 2020). Dalam penelitian ini kami akan membahas mengenai rangkaian komparator dengan menggunakan sepuluh jenis Op-Amp yang berbeda. Tujuannya agar dapat mengetahui nilai dari tegangan output yang dihasilkan oleh rangkaian komparator tersebut, apakah sama atau berbeda sesuai kaitannya dengan perhitungan teori. Pada umumnya, rangkaian komparator ini menggunakan komponen elektronika yaitu *Operational-Amplifier* (Op-Amp), yang berfungsi membandingkan dua data digital atau membandingkan dua buah tegangan yang masuk pada dua buah kaki Op-Amp, yakni kaki dengan nilai input positif $V_{(+)}$ dan kaki dengan nilai input negatif $V_{(-)}$ (Sari dkk., 2020).

Studi Pustaka

a. Op-Amp

Operational Amplifier atau yang disingkat menjadi Op-Amp ini merupakan bentuk *IC Linear* yang bekerja sebagai penguat sinyal listrik. Op-Amp mempunyai dua input (masukan) *inverting* dan *non-inverting* dan satu terminal *output* (keluaran). Struktur dari Op-Amp terdiri dari beberapa Dioda, Transistor, Kapasitor dan Resistor yang terintegrasi menghasilkan *Gain* (penguatan) pada frekuensi yang luas atau disebut juga Penguat Operasional. Pada Op-Amp terdapat sifat-sifat ideal yaitu perbedaan tegangan input (V_{dm}) = 0, arus input Op-Amp (I_a) = 0, penguat lingkaran terbuka ($AVOL$) tak terhingga, hambatan keluaran lingkaran terbuka nol, hambatan masukan lingkaran terbuka tak terhingga, dan lebar pita (*bandwidth*) tak berhingga atau Δf tak terhingga (Nuryanto, 2017).

b. Komparator Op-Amp

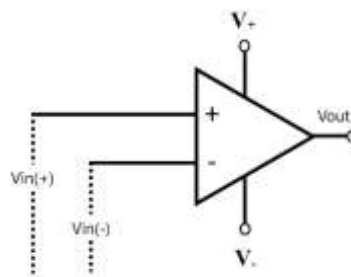
Komparator adalah salah satu rangkaian konfigurasi penentu keputusan elektronik paling sederhana yang menggunakan *gain loop* terbuka dari Op-Amp yang sangat besar. Ada jenis Op-Amp khusus yang digunakan pada penelitian ini, yang sedikit berbeda dengan Op-Amp lainnya serta disebut juga sebagai komparator (Tooley, 2007). Komparator membandingkan dua tegangan saluran dan mengubah output untuk menunjukkan tegangan yang lebih besar di antara keduanya (Nuryanto, 2017).

c. Circuit Wizard

Circuit wizard adalah sebuah simulator *offline* yang menyediakan 3 fitur yaitu *circuit diagram*, *PCB layout*, dan *Bill of materials*. *Circuit wizard* memiliki tampilan GUI yang menarik. Simulator ini sangat mudah digunakan karena menu dan komponen yang sederhana, sehingga sangat mudah untuk dipahami oleh pengguna baru (pemula). Selain itu, hasil simulasinya memiliki keakuratan yang cukup baik, walaupun hasilnya tidak seakurat perhitungan manual ataupun praktik yang menggunakan komponen fisik (Pratiwi dkk., 2021).

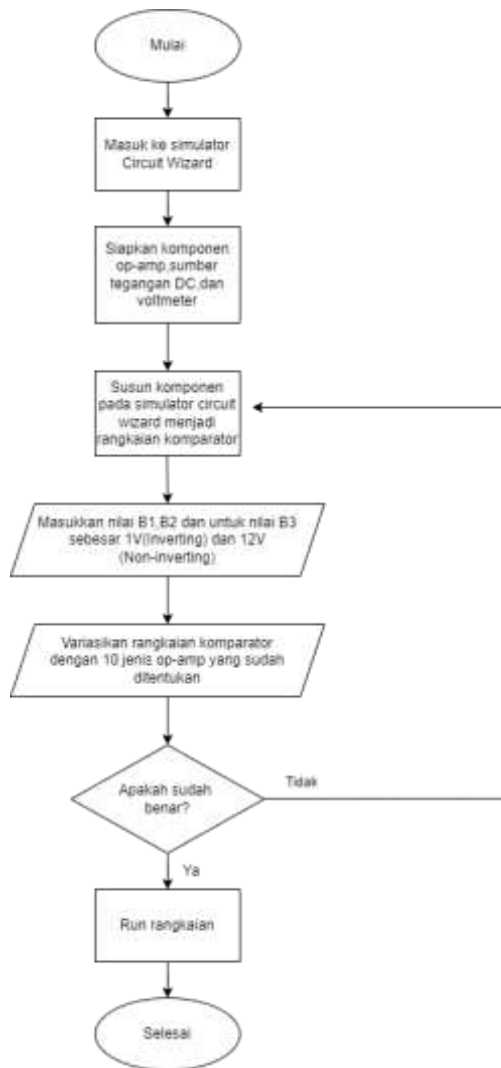
Metodologi

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian menggunakan rangkaian komparator untuk membandingkan hasil dua buah tegangan pada kaki *inverting* dan *non-inverting* Op-Amp (Nuryanto, 2017). Rangkaian komparator dibuat dengan komponen yang terdiri dari satu jenis Op-Amp, satu tegangan input positif ($V_{in(+)}$), dan satu tegangan input negatif ($V_{in(-)}$) seperti yang disajikan pada Gambar 1. Dengan penambahan voltmeter yang sudah tersedia pada simulator *Circuit Wizard* yang dihubungkan ke sumber tegangan DC pada rangkaian tersebut.



Gambar 1. Rangkaian Komparator

Operational Amplifier yang digunakan terdiri dari sepuluh model berbeda yang terdapat pada simulator *Circuit Wizard* (Tabel 1). Rangkaian ini terdiri dari penguat *inverting* dengan nilai tegangan input negatif ($V_{in(-)}$) sebesar 1V dan penguat *non-inverting* dengan nilai tegangan input negatif ($V_{in(-)}$) sebesar 12V. Setelah semua komponen terhubung, akan diperoleh nilai V_{out} antara rangkaian penguat *inverting* dan *non-inverting*. Untuk lebih singkatnya, tahapan ini disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Mencari Nilai V_{out}

Adapun data nilai pada masing-masing model *Amplifier* dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Model *Operational Amplifier*

Model	Vendor	Parameter	Nilai
LM741	Texas Instruments	<i>Large signal voltage gain</i> (A_v)	200 V/mV
LM324		<i>Input resistance</i> (R_i)	2 M Ω
LM339		<i>Large-signal differential voltage amplification</i> (A_{vd})	100 V/mV
LM258		<i>Large-signal differential voltage amplification</i> (A_{vd})	200 V/mV
CA3140	Renesas Technology Corp	<i>Open-loop voltage gain</i> (A_{oL})	100 V/mV
		<i>Large signal voltage gain</i> (A_v)	100 kV/V
TL071	Texas Instruments	<i>Input resistance</i> (R_i)	1,5 T Ω
		<i>Large-signal differential voltage amplification</i> (A_{vd})	200 V/mV
TL082	Texas Instruments	<i>Input capacitance differential</i> (Z_{ID})	100 M Ω
		<i>Open-loop output impedance</i> (Z_o)	125 Ω
		<i>Large-signal differential voltage amplification</i> (A_{vd})	200 V/mV
		<i>Input capacitance differential</i> (Z_{ID})	100 M Ω

	<i>Open-loop output impedance (Z_o)</i>	125 Ω
LM311	<i>Large-signal differential voltage amplification (A_{vd})</i>	200 V/mV
TL061	<i>Large-signal differential voltage amplification (A_{vd})</i>	6 V/mV
TL062	<i>Large-signal differential voltage amplification (A_{vd})</i>	6 V/mV

Untuk mendapatkan hasil perbandingan tegangan yang lebih valid, simulasi dilakukan sebanyak enam kali pada dua kondisi pembandingan dengan nilai $V_{in}(+)$ sebesar 6V, nilai $V_{in}(-)$ yang telah ditentukan pada Tabel 2, dan tegangan DC yang mengalir sebesar 12V.

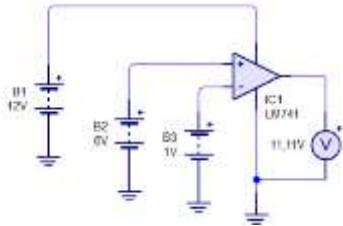
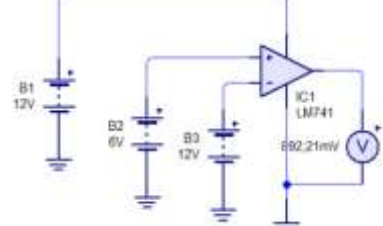
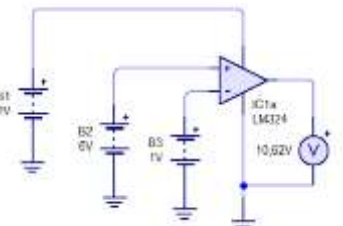
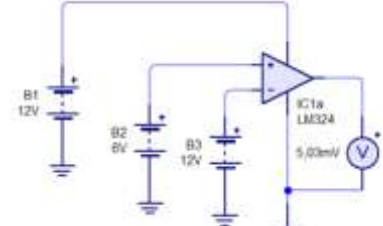
Tabel. 2 Nilai Tegangan Input Negatif ($V_{in}(-)$) Dengan Nilai $V_+ = 12V$ dan Nilai $V_{in}(+) = 6V$

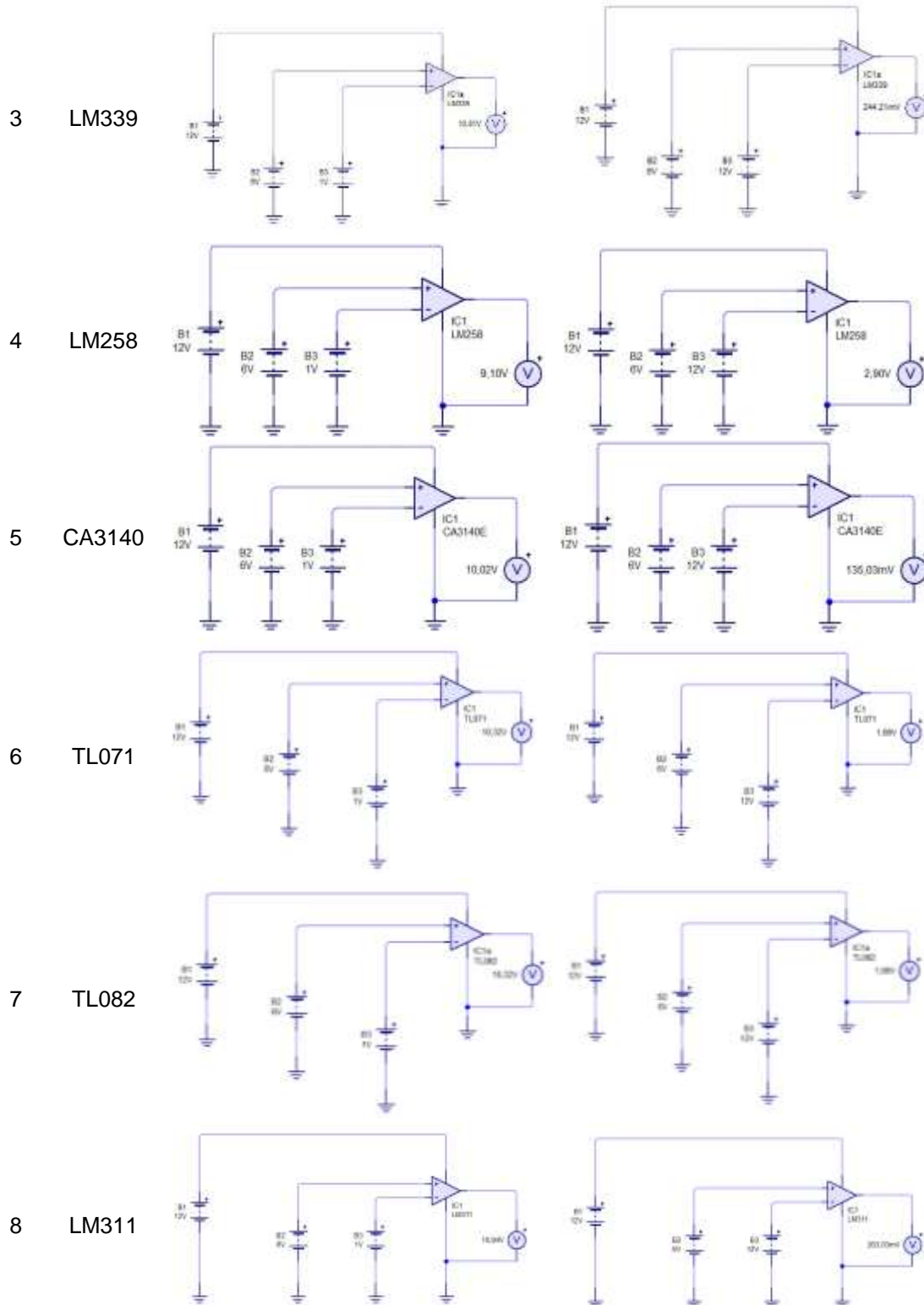
Kondisi	Nilai tegangan input negatif ($V_{in}(-)$)
$V_{in}(+) \geq V_{in}(-) \rightarrow V_0 = V_{sat+}$ $6V \geq 1V \rightarrow 12V$	1V
	2V
	3V
	4V
	5V
	6V
$V_{in}(+) < V_{in}(-) \rightarrow V_0 = 0V$ $6V < 12V \rightarrow 0V$	7V
	8V
	9V
	10V
	11V
	12V

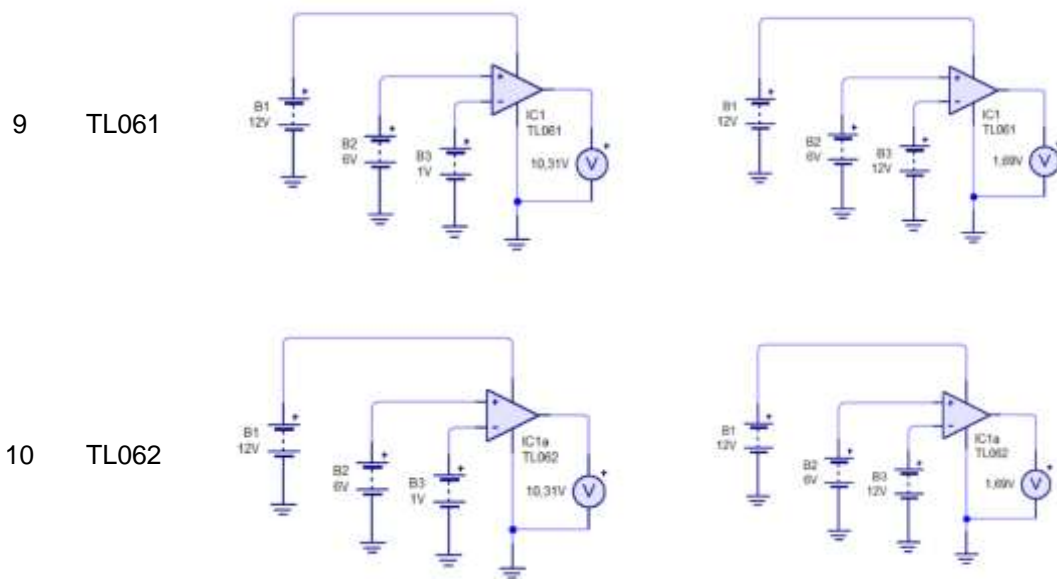
Hasil dan Pembahasan

Hasil dari simulasi rangkaian komparator disajikan pada Tabel 3 yang menjelaskan keadaan komparator pada saat nilai $V_{out} = V_{sat+}$ dan $V_{out} = V_{sat-}$. Pada Tabel 4 penjelasan mengenai hasil pengukuran V_{out} pada rangkaian komparator dengan 10 model Op-Amp yang berbeda-beda.

Tabel. 3 Hasil Simulasi Rangkaian Komparator Pada Saat $V_{out} = V_{sat+}$ dan $V_{out} = V_{sat-}$

No	Model Op-Amp	$V_{in}(+) \geq V_{in}(-) \rightarrow V_0 = V_{sat+}$ $6V \geq 1V \rightarrow 12V$	$V_{in}(+) < V_{in}(-) \rightarrow V_0 = 0V$ $6V < 12V \rightarrow 0V$
1	LM741		
2	LM324		





Berikut disajikan hasil pengukuran dengan 10 model Amplifier yang dipilih.

Tabel. 4 Hasil Pengukuran V_{out} Pada Rangkaian Komparator Dengan 10 Model Op-Amp

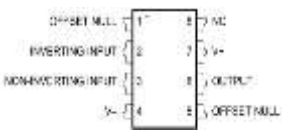
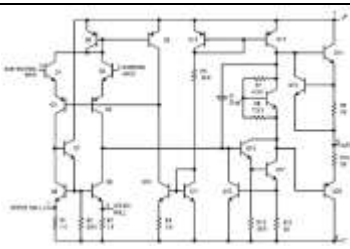
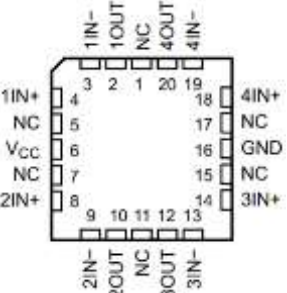
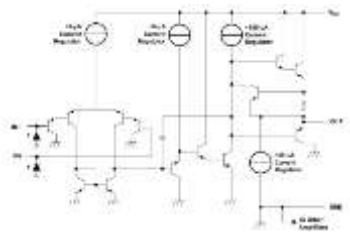
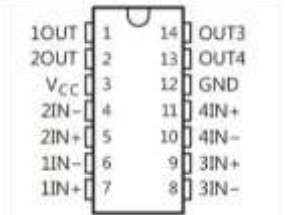
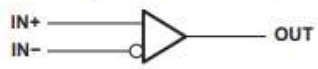
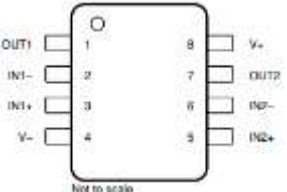
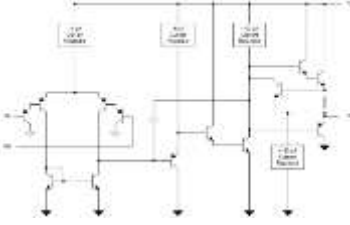
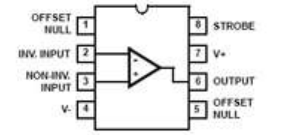
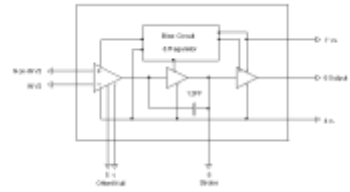
V_{in} (+)	V_{in} (-)	V_{out}									
		Model Op-Amp									
		LM741	LM324	IC339	LM258	CA3140	TL071	TL082	LM311	TL061	TL062
6V	1V	11,11V	10,62V	10,81V	9,10V	10,02V	10,32V	10,32V	10,94V	10,31V	10,31V
6V	2V	11,11V	10,62V	10,81V	9,10V	10,02V	10,32V	10,32V	10,94V	10,31V	10,31V
6V	3V	11,11V	10,62V	10,81V	9,10V	10,02V	10,32V	10,32V	10,94V	10,31V	10,31V
6V	4V	11,11V	10,62V	10,81V	9,10V	10,02V	10,32V	10,32V	10,94V	10,31V	10,31V
6V	5V	11,11V	10,62V	10,81V	9,10V	10,02V	10,32V	10,32V	10,94V	10,31V	10,31V
6V	6V	11,10V	10,61V	10,81V	9,10V	10,01V	1,69V	1,69V	10,93V	1,70V	1,70V
6V	7V	0,892V	0,005V	0,244V	2,90V	0,135V	1,68V	1,68V	0,263V	1,69V	1,69V
6V	8V	0,892V	0,005V	0,244V	2,90V	0,135V	1,68V	1,68V	0,263V	1,69V	1,69V
6V	9V	0,892V	0,005V	0,244V	2,90V	0,135V	1,68V	1,68V	0,263V	1,69V	1,69V
6V	10V	0,892V	0,005V	0,244V	2,90V	0,135V	1,68V	1,68V	0,263V	1,69V	1,69V
6V	11V	0,892V	0,005V	0,244V	2,90V	0,135V	1,68V	1,68V	0,263V	1,69V	1,69V
6V	12V	0,892V	0,005V	0,244V	2,90V	0,135V	1,68V	1,68V	0,263V	1,69V	1,69V

Prinsip kerja dari rangkaian komparator terbagi ke dalam dua bagian. Pertama adalah jika $V_{in(+)}$ atau nilai input pada kaki input positif lebih besar atau sama dengan dari $V_{in(-)}$ atau nilai input pada kaki input negatif, maka nilai V_{out} atau outputnya akan sama dengan nilai tegangan pada kaki input positifnya. Sedangkan jika $V_{in(+)}$ atau nilai input pada kaki input positif lebih kecil dari $V_{in(-)}$ atau nilai input pada kaki input negatif, maka nilai V_{out} atau outputnya akan sama dengan nilai tegangan pada kaki input negatifnya. Namun pada praktisnya tegangan output pada Op-Amp tidak akan sampai V_+ ataupun V_- , melainkan V_{sat+} atau V_{sat-} (mendekati V_+ atau V_-). Sebagaimana hasil eksperimen simulasi rangkaian komparator pada *Circuit Wizard* pada Tabel.

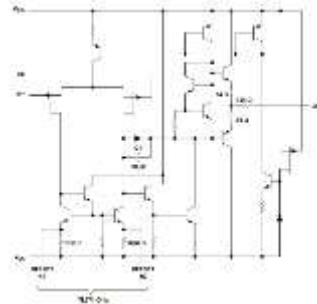
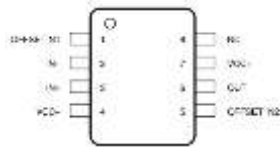
1. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh $V_{rail-to-rail}$ yang tersedia pada *datasheet* Op-Amp (Fuada, 2021).

Pada rangkaian komparator dengan model Op-Amp yang berbeda juga dapat menghasilkan nilai V_{out} yang berbeda pula, sebagaimana hasil eksperimen pada Tabel. 2. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh $V_{rail-to-rail}$, rangkaian intrinsik, Z_{in} , Z_{out} , Pin dan karakteristik yang berbeda-beda dari masing-masing model Op-Amp nya. Tabel. 5 berikut menunjukkan gambar rangkaian intrinsik dan pin dari masing-masing model Op-Amp.

Tabel. 5 Pin dan Rangkaian Intrinsik Dari 10 Model Op-Amp

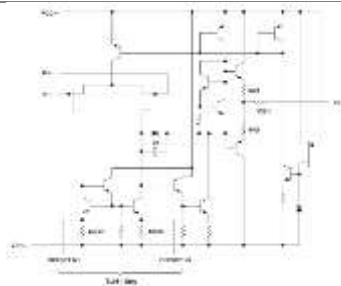
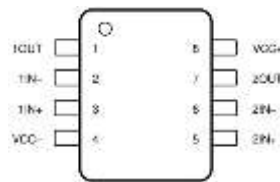
No.	Model Op-Amp	PIN	Rangkaian Intrinsik	Sumber
1.	LM741			https://www.ti.com/product/LM741
2.	LM324			https://www.ti.com/product/LM324
3.	LM339		<p>Simplified Schematic</p> 	https://www.ti.com/product/LM339
4.	LM258			https://www.ti.com/product/LM258
5.	CA3140			https://www.electroschematic.com/ca3140-integrated-circuit/

6. TL071



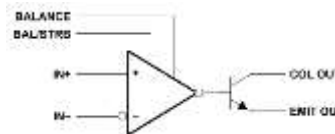
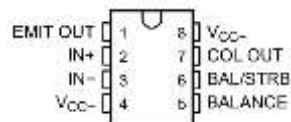
<https://www.ti.com/product/TL071>

7. TL082



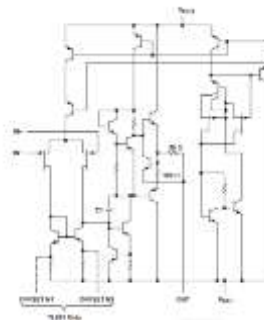
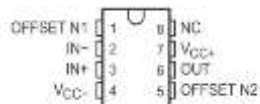
<https://www.ti.com/product/TL082>

8. LM311



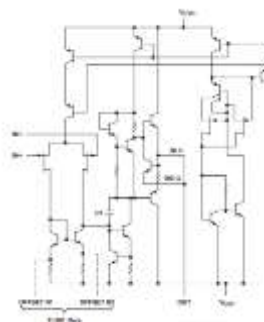
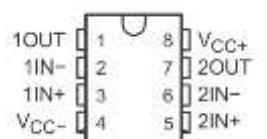
<https://www.ti.com/product/LM311>

9. TL061



<https://www.ti.com/product/TL061>

10. TL062



<https://www.ti.com/product/TL062>

Sebagai pembanding jika dilihat dalam karakteristiknya, di dalam *datasheet* LM741 memiliki nilai $V_s = \pm 15 \text{ V}$ (*output voltage swing*) jika $R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$ dan $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$ (*LM741 data sheet, product information and support | TI.com, 2015*). Sedangkan dalam *datasheet* LM258 memiliki nilai $V_s = 30 \text{ V}$ jika $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $V_s = 30 \text{ V}$ jika $R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$, $V_s = 5 \text{ V}$ jika $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$ untuk *rail* positif, dan $V_s = 5 \text{ V}$ jika $R_L \leq 10 \text{ k}\Omega$ untuk *rail* negatif (*LM258 data sheet, product information and support | TI.com, 2021*).

Kesimpulan

Berdasarkan analisis, rangkaian komparator yang telah disimulasikan dengan bervariasi beberapa jenis IC Op-Amp yang tersedia pada *software circuit wizard*, didapatkan nilai V_{out} dari perbandingan dua nilai masukan pada dua kaki Op-Amp (V_{in+} dan V_{in-}) yang berbeda. Pada nilai V_{out} yang dihasilkan dipengaruhi oleh $V_{rail-to-rail}$ dan beberapa parameter atau rangkaian intrinsik yang tertera dalam *datasheet* setiap Op-Amp. Adapun beberapa hasil V_{out} model Op-Amp yang sama disebabkan oleh beberapa parameter yang serupa pada *datasheet*-nya. Selain itu, terdapat persamaan matematis yang dapat menunjukkan hasil V_{out} setiap Op-Amp, Namun tidak semua Op-Amp memiliki parameter yang lengkap pada *datasheet* untuk membuktikan persamaan matematis tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut untuk mencari nilai V_{out} melalui pembuktian persamaan matematis agar mendapatkan hasil yang konkrit.

Peneliti merekomendasikan *software Circuit Wizard* sebagai alat untuk memudahkan dalam mensimulasikan rangkaian komparator karena pada *software* tersebut tersedia beberapa jenis Op-Amp lain. *Software* ini dapat dijadikan penunjang untuk mensimulasikan rangkaian elektronika lainnya. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi untuk para pembaca maupun para peneliti yang akan melakukan penelitian serupa.

Referensi

- Azzahra, N. F. (2020). Addressing Distance Learning Barriers in Indonesia Amid the Covid-19 Pandemic. *Center for Indonesian Policy Studies*, 1–8. <https://doi.org/10.35497/309162>
- Bahasoan, A. N., Wulan Ayuandiani, Muhammad Mukhram, & Aswar Rahmat. (2020). Effectiveness of Online Learning In Pandemic Covid-19. *International Journal of Science, Technology & Management*, 1(2), 100–106. <https://doi.org/10.46729/ijstm.v1i2.30>
- Daniel, S. J. (2020). Education and the COVID-19 pandemic. *PROSPECTS*, 49(1–2), 91–96. <https://doi.org/10.1007/s11125-020-09464-3>
- Fuada, S. (2021). Op-Amp Sebagai Komparator. Dalam *Elektronika Dasar untuk Mahasiswa Sistem Telekomunikasi: Pendekatan Praktikum Virtual* (2nd ed., hlm. 27–39). Media Edukasi Indonesia.
- LM258 data sheet, product information and support | TI.com. (2021, Juli). <https://www.ti.com/product/LM258>
- LM741 data sheet, product information and support | TI.com. (2015, Oktober). <https://www.ti.com/product/LM741>
- Nuryanto, L. E. (2017). Penerapan dari Op-Amp (Operational Amplifier). *ORBITH*, 13(1), 43–50.
- Pratiwi, W., Fuada, S., Zanah, F. W., & Restyasari, N. (2021). Analisis Rangkaian Wheatstone Bridge Menggunakan Simulator Circuit Wizard, Proteus, dan Multisim. *Telecommunications, Networks, Electronics, and Computer Technologies*, 1(1), 1–13.
- Sari, I. F., Sari, N., Novitasari, O., Amara, R., Subaedi, A. N., & Antarnusa, G. (2020). *Gerbang Logika Kombinasional dan Komparator*. 8.
- Tooley, M. (2007). *Electronic Circuits—Fundamentals & Applications* (3 ed). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780080477503>
- Wahyuni, S. (2020). Alternatif Media Pembelajaran Berbasis Perangkat Lunak Pada Bidang Elektro. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 4(1), 33. <https://doi.org/10.22373/crc.v4i1.6275>