

Pengkondisi RTD Dengan Kompensasi 4 Wire

Ifan Ihza¹, Eka Mandayatma², Siswoko³

[Submission: 26-07-2021, Accepted: 31-07-2021]

Abstract - With the development of the era of technology 4.0, industries are increasingly competing to produce better products. One way to produce good products is by increasing the accuracy of a sensor reading. There are many kinds of sensors, one of which is the RTD PT100 temperature sensor. Previously, the RTD conditioner had 3 wire compensation, however, this did not provide a precise reading. This imprecision is in the form of an up and down reading, so it will confuse determining the measured results. With this problem, we made a PT100 RTD conditioner with 4 wire compensation. By utilizing a differential op-amp and a Constant Current Source (CCS) as the sensor supply, we amplify the RTD PT100 sensor output signal, so that it can be read with more precision. The result of the RTD sensor test with an input voltage of 11.25V and a current of 1.91mA is that the resistance on the cable cannot be relied on by temperatures in the range of 30 °C to 80 °C. In the 5x gain experiment, an error was obtained with a measured result of 1.040V, while for the theory it was 1.045V, so the error was 0.004. Whereas in 50x amplification the measured results are 10.25V, while in theory, it should be 9.9 V, so the results have an error of 0.035

Abstrak - Seiring berkembangnya era teknologi 4.0, industri semakin berlomba-lomba untuk menghasilkan produk yang lebih baik. Salah satu cara menghasilkan produk yang baik yaitu dengan meningkatkan ketepatan dari pembacaan suatu sensor. Ada banyak macam sensor, salah satunya sensor suhu RTD PT100. Sebelumnya, pengondisi RTD memiliki kompensasi 3 wire, namun hal tersebut kurang memberikan hasil pembacaan yang presisi. Ketidakpresisian ini berupa pembacaan yang naik-turun, sehingga akan membuat pembaca bingung menentukan hasil yang terukur. Dengan masalah ini, dibuat pengondisi RTD PT100 dengan kompensasi 4 wire. Dengan memanfaatkan op-amp differensial dan Constant Current Source (CCS) sebagai supply sensornya, dengan menguatkan sinyal keluaran sensor RTD PT100, sehingga dapat dibaca dengan lebih presisi. Hasil dari pengujian sensor RTD dengan input tegangan 11.25V dan arus 1.91mA adalah resistansi pada kabel tidak dipengaruhi oleh suhu dalam range 30°C sampai dengan 80°C. Dalam percobaan penguatan 5x, didapatkan error dengan hasil yang terukur 1.040V, sedangkan untuk teorinya 1.045V, sehingga didapatkan hasil error 0.004. Sedangkan dalam penguatan 50x hasil yang terukur yaitu 10.25V, sedangkan pada teori seharusnya 9.9 V, maka dari hasil tersebut memiliki error 0.035.

Keywords: Differensial Amplifier, 4 wire, Pengondisi RTD.

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang email: mahendraifan1998@gmail.com

²Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang email: eka.madayatma@polinema.ac.id

³Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, email: siswoko@polinema.ac.id

I. PENDAHULUAN

Teknologi dalam era globalisasi setiap harinya mengalami perkembangan yang dinamis, salah satu bentuk dari perkembangan teknologi tersebut terutama di bidang industri yang membutuhkan banyak peralatan untuk mendukung hasil yang maksimal digunakan sensor sebagai pendukungnya. Dan untuk sampai saat ini sudah banyak penelitian atau percobaan yang membahas tentang sensor RTD PT100 dan *thermocouple* dengan metode yang di pakai yaitu metode pengukuran suhu yang menggunakan sensor RTD PT100 type K dengan 3 *wire*. Dan hasil yang didapat dari percobaan tersebut yaitu ketidakpastian sebesar $\pm 0,094\Omega / 10$ °C [1]

Penelitian tentang alat ukur suhu yang terintegrasi thermometer berbasis LM35 dan PT100 yang telah dilakukan didapatkan bahwa yaitu resistansi sebanding dengan perubahan temperature yang memiliki sensitivitas sebesar 0,391 Ω dan keluaran pada sensor saat suhu awal 28°C yaitu 100,8 Ω [2]

Penelitian tentang sensor RTD 2 *wire* dan 3 *wire* dengan metode pengukuran nilai resistansi pada kabel sensor yang panjang akan berdampak pada resistansi waktu di ukur dengan instrument alat ukur seperti AVO. Hasil pengujian 3 *wire* dengan suhu 31 °C dengan V_{out} 0.28 V dan pada suhu maksimal 76 °C V_{out} yang dikeluarkan sebesar 0.29 V. Sedangkan pada pengujian 2 *wire* saat sensor dipanaskan dengan suhu awal yang sama yaitu 31 °C menghasilkan tegangan V_{out} sebesar 0,27 V dan pada suhu maksimal 76 °C V_{out} yang dikeluarkan sebesar 0,98 V. Perbedaan yang sangat besar ini mengakibatkan 3 *wire* lebih sering digunakan karena menghasilkan selisih nilai ΔV sebesar 0,1 V dari pada rangkaian 2 *wire* yang menghasilkan selisih nilai ΔV 0,71 V. Sehingga dengan 3 *wire* menghasilkan hasil pengukuran yang lebih tepat. [3]

Pada penelitian kali ini akan dilakukan percobaan tentang pengkondisi RTD dengan kompensasi 4 *wire* dengan metode yang dilakukan dengan pengukuran suhu sensor suhu RTD PT100 dan kabel (*wire*) jarak antara sensor dan modul sepanjang 50 meter. Dengan metode ini diharapkan bisa mengetahui pengaruh tegangan dan resistansi pada perubahan suhu terhadap sensor dan jarak antara sensor dan modul yang panjang akan berpengaruh atau tidak terhadap tegangan dan resistansi pada kabel dan mendapatkan hasil pengukuran yang akurat dan presisi.

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



II. TINJAUAN PUSTAKA

Cara paling mudah untuk memenuhi persyaratan format penulisan adalah dengan menggunakan dokumen ini sebagai template. Kemudian ketikkan teks Anda ke dalamnya

A. Sensor Suhu RTD

RTD yang merupakan singkatan dari *Resistance Temperature Detector* adalah sensor suhu yang pengukurannya menggunakan prinsip perubahan resistansi atau hambatan logam yang dipengaruhi oleh perubahan suhu. [4]

B. Prinsip 4 Wire

Konfigurasi kerja sensor suhu RTD 4 wire terdiri dari 2 lead arus dan dua lead tegangan pada RTD kedua resistansi yang tinggi pada tegangan untuk menandakan efek dari drop tegangan, maka resistansi RTD dapat di ditentukan. mengambil pengukuran sensor RTD ketika arus DC kecil dipasok ke sensor. Arus melewati impedansi resistor, dan mengalami penurunan tegangan pada sepanjang resistor. Besar arus yang berbeda dapat digunakan tergantung pada resistansi RTD. Untuk mengurangi pemanasan sendiri pada sensor RTD, diusahakan arus pasokan harus tetap rendah dan konstan, umumnya sekitar 2 mA atau kurang dari itu. RTD 4 wire adalah konfigurasi yang paling akurat dari yang lainnya. Karenadalam RTD 4 wire ini dapat sepenuhnya mengkompensasi resistansi dari kabel, tanpa perlu memberikan perhatian lebih pada panjang masing masing kabel. [5]

C. Karakteristik Op-Amp

Karakteristik pada penguat atau gain Op-Amp umumnya ditentukan oleh resistor eksternal yang terhubung diantara output dan input (Inverting). Konfigurasi dengan umpan balik negative atau biasa disebut (Negative Feedback) atau closed loop configuration atau konfigurasi tertutup. Umpan balik negatif ini akan menyebabkan penguatan dan menghasilkan penguatan yang dapat diukur atau dibaca menggunakan avo serta dapat dikendalikan sesuai keinginan. Tujuan pengurangan gain dari Op-Amp ini adalah untuk menghindari terjadinya noise dan juga untuk menghindari respon yang tidak diharapkan. sedangkan pada konfigurasi terbuka atau open loop configuration, besar penguatannya adalah tak terhingga sehingga besarnya tegangan output hampir mendekati tegangan sumber inputan.[6]

D. Teori dasar Op Amp Differential

Penguat diferensial adalah sistem penguat yang bekerja dengan memperkuat inputan yang merupakan selisih dari

kedua inputannya tersebut. Penguat diferensial tersebut yang identik / sama persis sebagai penguat. Pada penguat diferensial terdapat dua input tegangan yaitu V_1 dan V_2 . Dalam kondisi normal, apabila kedua masukan identik ($V_{id} = 0$), maka keluaran $V_{od} = 0$. [7] Rumus tegangan keluaran dari op-amp differensial adalah sebagai berikut: [7]

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_1}(V_2 - V_1) \quad (1)$$

A. JRC 4558

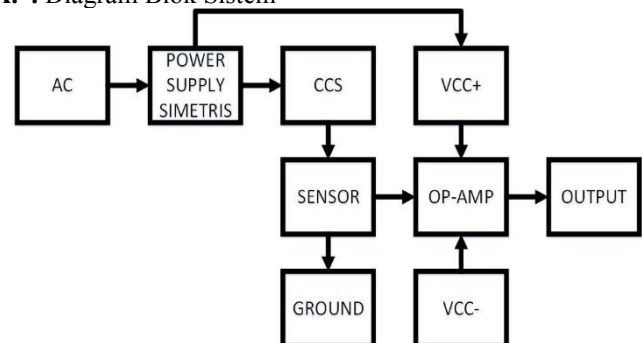
JRC 4558 adalah jenis IC yang memiliki 2 *op-amp* didalamnya (*dual amplifier*). Maksud dari penguat operasional atau *op-amp* adalah perangkat linier yang diperlukan untuk amplifikasi DC dan karena itu digunakan secara ekstensif dalam pengkondisian sinyal, *filter* atau untuk melakukan operasi matematika seperti menambah, mengurangi, integrasi, dan diferensiasi.[8]

E. LM317

IC LM317 merupakan transistor atau IC regulator tegangan variable untuk tegangan DC . Untuk membuat power supply dengan tegangan output variabel dapat dibuat dengan sederhana apabila menggunakan IC regulator.[9]

III. METODE PENELITIAN

A. . Diagram Blok Sistem



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

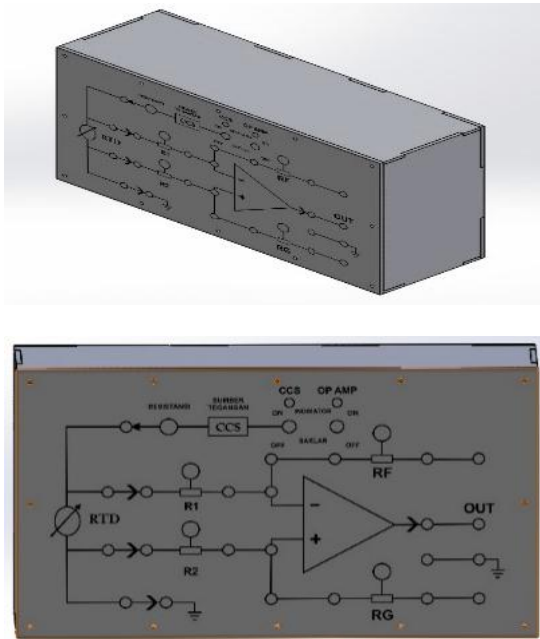
Gambar 1 adalah blok diagram system pengkondisi RTD dengan menggunakan 4 wire. Diawali dengan power supply simetris yang mengeluarkan tegangan +12V dan -12V yang berfungsi sebagai supply ke op amp dan +12V untuk supply ke CCS. Untuk sensor RTD sendiri mempunyai 2 output (tegangan) dari sensor. Tegangan output satu dihubungkan ke kaki inverting (negatif) dan tegangan output dua dihubungkan ke kaki non-inverting (positif) op-amp. Karena tegangan keluaran langsung dari sensor RTD tersebut kecil tidak sampai 1V maka tegangan di kuantkan oleh Op Amp Diferensial yang

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



menggunakan komponen IC JRC 4558 untuk menguatkan output nya. Dan sistem CCS pada sistem ini berfungsi untuk memberi sumber kepada sensor dengan tegangan 12V dan arus konstan sebesar 1,9 mA konstan.

B. Desain Mekanik



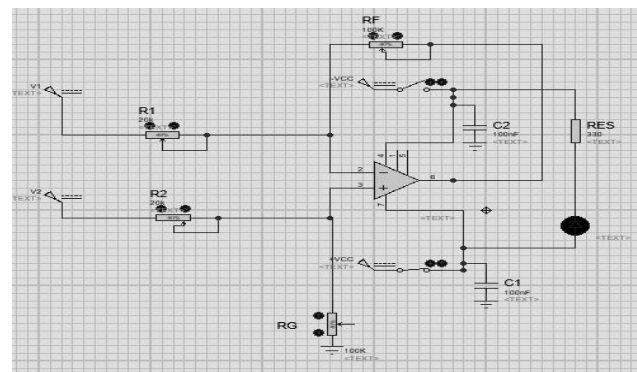
Gambar 2. Desain mekanik

Gambar 2 merupakan desain mekanik tampak depan dan tampak samping atas. Mekanik ini merupakan box yang terbuat dari plastic yang dilapisi sticker bagian atasnya yang berGambar layout rangkaian *differensial*, rangkaian CCS dan konfigurasi 4 wire agar mempermudah pengguna dalam merangkai pengkabelan pada modul. Untuk ukuran dimensi pada box tersebut memiliki panjang 11,5 cm, lebar 18 cm dan tinggi 6,5 cm. Bagian atas box telah dilubangi untuk pemasangan *banana socket* dan pengkabelan pada modul sendiri menggunakan kabel trainer.

Perancangan rangkaian *Constan Current Source*, membutuhkan ic LM317 sebagai ic regulator karena merupakan *adjustable linear voltage*, dengan arus maksimal 1,5 A dan output maksimal tegangan 15V, Besarnya arus output dari regulator LM317, dapat di hitung dengan rumus $I_{out} = \frac{1,25}{R}$, karena supply dari sensor membutuhkan arus maksimal 2mA dan harus konstan agar tidak mempengaruhi hasil output tegangan keluaran, Menentukan nilai hambatan untuk keluaran arus yang di inginkan

IC LM317 jenis *Adjustable Voltage Regulator* adalah jenis IC pengatur tegangan DC yang memiliki range tegangan output tertentu sehingga dapat disesuaikan kebutuhan rangkaianannya. Untuk penggunaan lm 317 kali ini kita menggunakannya sebagai ccs yang berfungsi sebagai pemberi arus konstan yang dibutuhkan terhadap sensor. Karna yang dibutuhkan arus nya 2 mA sedangkan hambatan yang dibutuhkan 625Ω, akan tetapi di pasaran sendiri tidak ada resistor atau hambatan 625Ω, maka dicarilah yang mendekati 625Ω atau yang melebihi dari itu yaitu di pakailah resistor 680Ω.

D. Perancangan Rangkaian Op-Amp Differential

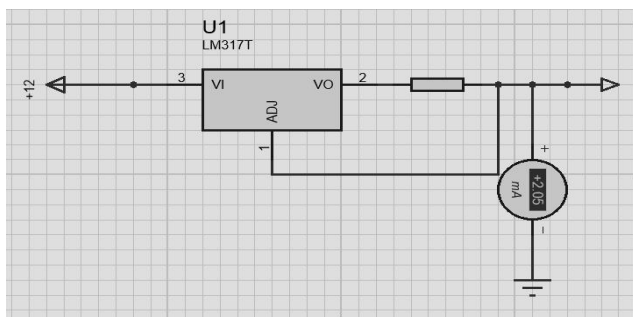


Gambar 4. Perancangan Rangkaian Op-Amp Differential

Perancangan rangkaian penguat Op Amp *differential* sama seperti perancangan pada rangkaian penguat *inverting*. Karena rangkaian penguat *differential* menjadi fungsi dalam JRC 4558 yang digunakan pada rangkain *inverting*. Hanya saja yang membedakan yaitu pada penguatan *differential* mendapatkan dua tegangan input yaitu V1 yang terhubung ke kaki negatif (-) dan V2 terhubung pada kaki positif (+) op-amp.

Sebelum melakukan pengujian harus menentukan Rf dan Rin. Nilai Rf dan Rin tidak bisa dipilih dengan nilai yang sangat besar dan sangat kecil. Nilai Rf dan Rin yang sangat besar menyebabkan penguat beroperasi pada daerah jenuh dan berada pada daerah saturasi dan jika dipilih Rf dan Rin yang terlalu kecil akan menyebabkan penguat beroperasi seperti buffer. Pemilihan Rf dan Rin harus mengacu pada data sheet masing masing IC. Untuk mendapatkan Rf yang optimal dan

C. Perancangan Rangkaian CCS (*Constant Current Source*)



Gambar 3. Perencanaan Rangkaian CCS

Ifan Ihza : Pengkondisi RTD dengan Kompensasi....

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



penguatan digunakan persamaan 2,3 dan 4: [8]

$A_v = 50$ kali
 $R_{id} = 2 \text{ M}\Omega$
 $R_o = 70$

$$\beta = \frac{1}{1-2(A_v)} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{1}{1-2(-50)}$$

$$\beta = \frac{1}{101}$$

$$\beta = 0,0099$$

➤ Sehingga untuk R_f optimal atau nilai R_f dan R_g ,

$$R_f \text{ optimal} = \sqrt{\frac{R_{id} \cdot R_o}{2 \cdot \beta}} \quad (3)$$

$$R_f \text{ optimal} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6 \cdot 70}{2 \cdot 0,0099}}$$

$$R_f \text{ optimal} = \sqrt{7070707070}$$

$$R_f \text{ optimal} = 84.087 \Omega$$

➤ Maka ditemukan nilai R_{in} untuk R_1 dan R_2 ,

$$R_{in} = \frac{R_f}{A_v} \quad (4)$$

$$R_{in} = \frac{84087 \Omega}{50}$$

$$R_{in} = 1681 \Omega$$

Jadi sebelum melakukan uji coba, di haruskan mengkalibrasi R_f dan R_1 pada rangkaian diferensial, dan di sesuaikan dengan hasil perhitungan yang diatas.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA ARUS DAN RESISTANSI JIKA SENSOR DIPANASKAN

A. Pengujian dan Analisa arus dan resistansi jika sensor dipanaskan Pengujian dan Analisa *constan current source* (CCS) untuk sumber tegangan pada sensor

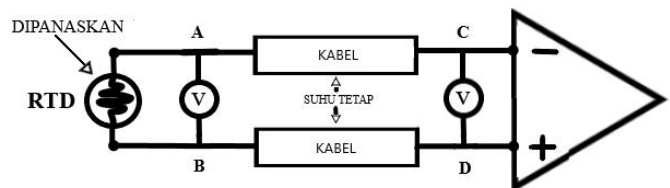
Tabel I
 Hasil Pengujian arus dan resistansi

NO	SUHU SENSOR	ARUS	RESISTANSI
1	30°C	1.91 mA	110.4Ω
2	40°C	1.91 mA	115.5Ω
3	50°C	1.91 mA	119.4Ω
4	60°C	1.91 mA	123.2Ω
5	70°C	1.91 mA	127.7Ω

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, didapatkan hasil yaitu waktu sensor dipanaskan dari 30°C sampai 70°C arus tetap konstan, dan hanya resistansi yang naik dari 110,4Ω hingga 127,7Ω seiring berubahnya suhu terhadap sensor, hal itu membuktikan bahwa sistem kerja CCS (*constan current source*) sudah berjalan dengan apa yang di harapkan.

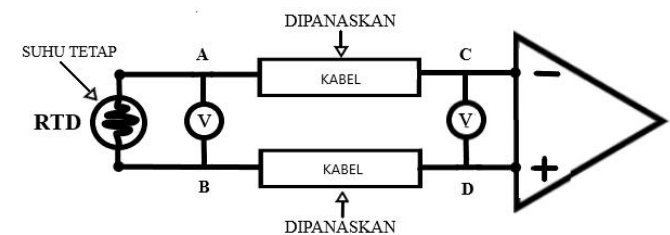
B. Pengujian dan Analisa sensor RTD dan kabel di panaskan bergantian

Rangkaian pengujian sensor RTD dan kabel sensor dengan pengujian yang dipanaskan secara bergantian yaitu kabel 50 meter dan sensor RTD PT100 seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian pengujian sensor RTD

Rangkaian pengujian sensor RTD dengan sensor yang di panaskan di dalam box sedangkan kabel sepanjang 50 meter di luar box dengan keadaan suhu normal.

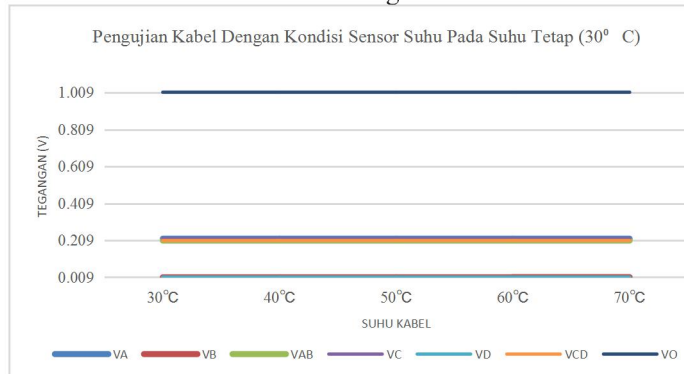


Gambar 6. Rangkaian pengujian sensor RTD

Rangkaian pengujian sensor kabel 50 meter dengan
 p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195

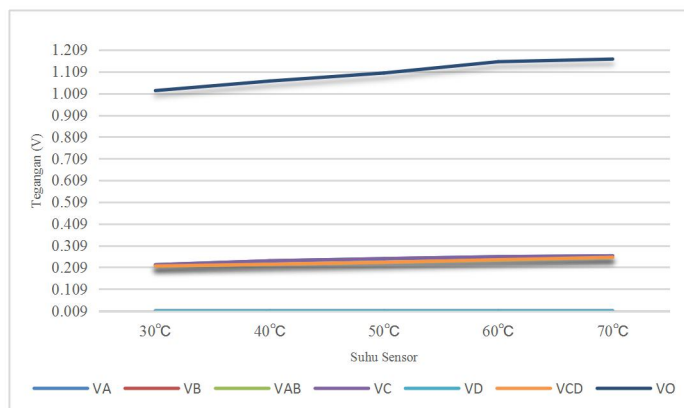


kabel yang di panaskan di dalam box sedangkan sensor suhu RTD PT100 berada di luar box dengan keadaan suhu normal.



Gambar 7. Pengujian Sensor Suhu Pada Suhu Tetap (30°C) dan Kabel Dipanaskan

Diketahui bahwa dari percobaan diatas tegangan pada output modul tidak mengalami kenaikan pada suhu 30°C sampai 70°C. Hal itu membuktikan jika kabel dalam keadaan suhu berubah tidak akan mempengaruhi pada tegangan output.



Gambar 8. Pengujian Kondisi Kabel Pada Suhu Tetap (30°C) dan Sensor Suhu Dipanaskan

Pada Gambar 7 diperoleh hasil tegangan VA,VB,VAB,VC,VD,VCD dan tegangan output meningkat seiring meningkatnya suhu pada sensor yang dipanaskan dari suhu 30°C sampai 70°C.

Dari percobaan diatas di dapatkan hasilnya berupa resistansi pada kabel yang di panaskan tidak akan mempengaruhi pada tegangan pada kabel seperti Gambar 6. Dan tidak terjadi perubahan tegangan pada VAB dan VCD, dan pada percobaan Sensor RTD nya yang dipanaskan terdapat terdapat terdapat penaikan tegangan yang terjadi di VAB dan VCD seperti pada Gambar 7.

Dan tidak terjadi perubahan tegangan pada VAB dan VCD, dan pada percobaan Sensor RTD nya yang dipanaskan terdapat penaikan tegangan yang terjadi di VAB dan VCD seperti pada Gambar 7.

Ifan Ihza : Pengkondisi RTD dengan Kompensasi....

C. Pengujian dan Analisa Penguatan Op Amp 5x

Dalam pengujian ini, sistem pengujian dengan menyiapkan box berlubang untuk pemanas dan thermometer air raksa, dan pengujian kali ini sensor suhu dan kabel akan dipanaskan secara bergantian.

Sebelum melakukan pengujian maka kita harus menentukan RF dan Rin. Nilai Rf dan dapat dilihat pada Bab 3.

Tabel II
 Pengujian dan Analisa Pengukuran Tegangan Output Sensor Dan Kabel Dipanaskan Bergantian

KABEL DIDALAM BOX			RTD DIDALAM BOX		
SUHU KABEL	RTD	OUTPUT (V)	SUHU SENSOR	KABEL	OUTPUT (V)
30°C	30°C	1.04 V	30°C	30°C	1.04 V
40°C	30°C	1.04 V	40°C	30°C	1.046 V
50°C	30°C	1.04 V	50°C	30°C	1.052 V
60°C	30°C	1.04 V	60°C	30°C	1.058 V
70°C	30°C	1.04 V	70°C	30°C	1.064 V
80°C	30°C	1.04 V	80°C	30°C	1.069 V

Berdasarkan Tabel 2, ketika kabel dalam box, diberi peningkatan suhu dan suhu pada RTD tetap, maka tegangan keluaran dari sensor tidak berubah, yaitu 1.04V. Sedangkan ketika suhu sensor di dalam box dinaikkan dan suhu kabel tetap, maka output akan berubah semakin naik juga.

A. Pengujian dan Analisa Drop Tegangan Pada Kabel

Dalam pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah ada drop tegangan pada kabel sepanjang 5,10,15,20,25,30,35,40,45 sampai 50 Meter. Dalam hasil pengujian kali dicantumkan di dalam table seperti di bawah ini:

Tabel III
 Pengujian dan Analisa Drop Tegangan Pada Kabel

Meter	Pengukuran kabel di V1	Pengukuran kabel di V2
5 Meter	0.228 Volt	0.009 Volt
10 Meter	0.228 Volt	0.009 Volt
15 Meter	0.228 Volt	0.009 Volt
20 Meter	0.228 Volt	0.009 Volt
25 Meter	0.228 Volt	0.009 Volt
30 Meter	0.228 Volt	0.009 Volt
35 Meter	0.228 Volt	0.009 Volt
40 Meter	0.228 Volt	0.009 Volt
45 Meter	0.228 Volt	0.009 Volt
50 Meter	0.228 Volt	0.009 Volt

Dari Tabel 3, terlihat beberapa data tegangan pada kabel



V1 dan V2 yang terukur ketika kabel dipanaskan dengan suhu 30°C. Pada saat kabel sepanjang 5meter dipanaskan sampai kabel dengan kabel sepanjang 50meter dipanaskan, hasil tegangan terukur hasilnya konstan, yaitu dengan V1 bernilai 0.228V dan V2 dengan 0.009V. Jadi panjang suatu kabel tidak akan membuat drop tegangan keluaran dari sensor suhu.

[10] H H Rachmat "RANCANG BANGUN ALAT UKUR MENGGUNAKAN POTENSIO MULTITURN" Desember 2015

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dalam pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa, sensor RTD PT100 berfungsi dengan baik dengan sumber dari CCS (Constam Current Source). Dengan inputan tegangan 11.25 V dan arus 1.91 mA, dan untuk resistansi pada kabel tidak terpengaruhi oleh suhu dalam range 30°C sampai dengan suhu 70°C. Dan untuk hasil dari keluaran sendiri sedikit berbeda dengan teori dan didapatkan error dalam percobaan penguatan 5x dengan hasil yang terukur 1.040 V sedangkan untuk teorinya 1.045 V. dan didapatkan hasil errornya 0.004 dan dalam penguatan 50x dengan hasil yang terukur yaitu 10.25 V dan untuk teorinya sendiri seharusnya 9.9 V, maka dari hasil tersebut diketahui errornya adalah 0.035.

B. Saran

Pemilihan IC yang tepat sangat mempengaruhi kinerja dari modul ini. Pembuatan alat ini masih jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu masih diperlukan penyempurnaan agar alat berfungsi secara maksimal.

REFRENSI

- [1] Sumarkantini. "evaluasi kalibrasi RTD PT100 dan Thermocouple". 2018
- [2] ningsih, Asri setya. "alat ukur suhu yang terintegrasi thermometer berbasis LM355 dan PT 100". 2017
- [3] Ayuningdyah, Novi, Eka Mandayatma, and Herwandi Herwandi. "Peningkatan Akurasi Pembacaan Sensor RTD 3 Kabel Dengan Mempertimbangkan Resistansi Kabel Penghantar." *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri* 5.3 (2021): 18-25.
- [4] Sumarkantin. "evaluasi kalibrasi RTD PT100 dan Thermocouple". 2018.
- [5] PT100 RTD 4 wire datasheet aviable ; <https://www.itsirl.com/datasheets/RTM13.pdf> juli 2020
- [6] Romdhoni. "Analisis karakteristik OP AMP menggunakan virtual instrument".
- [7] Eko Nuryanto, Lilik. "PENERAPAN DARI OP-AMP (OPERATIONAL AMPLIFIER)". 1 Maret 2017
- [8] JRC4558 Dual Operational Amplifier datasheet component101 aviable ; <https://components101.com>
- [9] Pujiyatmoko, Heru. "PERANCANGAN CATU DAYA DC TERKONTROL UNTUK RANGKAIAN RESONANSI". SEPTEMBER 2014

