

RANCANG BANGUN TRANDUSER TEMPERATUR MENGGUNAKAN SENSOR TERMISTOR

Wahyu B Mursanto dan Rony Fachrul.

Jurusan Teknik Konversi Energi - Politeknik Negeri Bandung
email : wahyumursanto@gmail.com; rony.fachrul@yahoo.com

Abstrak

Tranduser temperatur ini dibuat dengan menggunakan sensor termistor yang memiliki koefisien negatif atau NTC. Termistor memiliki karakteristik non-linier. Dengan karakteristik yang non-linier dilakukan metoda linierisasi menggunakan metoda rangkaian paralel. Tranduser temperatur ini memiliki range pengukuran dari 20°C hingga 50°C. Catu daya DC digunakan sebagai sumber tegangan untuk rangkaian tranduser temperatur. Tranduser ini membutuhkan sebuah rangkaian pengkondisi sinyal agar tegangan keluarannya berkisar pada 2 volt hingga 5 volt. Penggunaan mikrokontroler Atmega 8535 bertujuan untuk mengolah keluaran yang berupa sinyal analog menjadi sebuah sinyal digital yang ditampilkan pada sebuah LCD 16x2.

Kata kunci : Tranduser, termistor, mikrokontroler, LCD.

PENDAHULUAN

Suhu atau temperatur merupakan suatu derajat panas. Pada kehidupan sehari-hari banyak dijumpai di lingkungan sekitar, contohnya temperatur ruangan. Dalam bidang energi, temperatur memiliki peranan yang sangat penting dalam suatu proses kerja sebuah alat. Temperatur tranduser digunakan sebagai alat untuk mendeteksi suhu atau temperatur suatu lingkungan atau suatu sistem. Sebagai seorang yang bergerak dalam bidang energi, perlu mengetahui cara untuk memperoleh besaran temperatur dengan menggunakan sebuah instrumen yang terbuat dari suatu rangkaian elektronik.

Pada tranduser temperatur, terdapat elemen-elemen sebagai komponen utama pada suatu rangkaian trandusernya. Elemen sensor yang biasa digunakan pada tranduser temperatur adalah : Termistor, RTD, Elemen IC dan termokopel. Masing-masing mempunyai karakteristik dan prinsip kerja yang berbeda-beda dari keempat elemen tersebut. Termistor memiliki respon yang lebih cepat dibanding yang lain, namun merupakan elemen yang paling tidak linear. Untuk memenuhi kebutuhan respon yang cepat dengan jangkauan yang terbatas, maka termistor merupakan pilihan yang tepat. Untuk mengatasi kekurangan karena ketidaklinieran sensor dapat diatasi dengan menggunakan rangkaian sederhana.

TINJAUAN PUSTAKA

Tranduser

Tranduser adalah sebuah piranti yang mampu mengkonversikan suatu besaran fisis tertentu menjadi besaran fisis yang sama atau berbeda [1].

Jenis-jenis sensor temperatur :

1) Termokopel

Berfungsi sebagai sensor suhu rendah dan tinggi, yaitu suhu serendah -200°C sampai dengan suhu tinggi yang digunakan pada proses industri baja, gelas dan keramik yang lebih dari 1400°C. Termokopel dibentuk dari dua buah penghantar yang berbeda jenisnya dan dililit bersama.

2) Termistor (*Thermal Resistor/Thermal Sensitive Resistor*)

Termistor berfungsi untuk mengubah suhu menjadi resistansi/hambatan listrik yang sesuai dengan perubahan suhu. Pada termistor jenis NTC (negatif termistor coefficient) semakin tinggi suhu, semakin kecil resistansi.

3) RTD (*Resistance Temperature Detectors*)

RTD berfungsi mengubah suhu menjadi resistansi/hambatan listrik yang sebanding dengan perubahan suhu. Semakin tinggi suhu, resistansinya semakin besar. RTD terbuat dari sebuah kumparan kawat platinum yang dilind. RTD dapat digunakan sebagai sensor suhu yang mempunyai ketelitian 0,03°C untuk

temperatur dibawah 500°C dan 0,1°C di atas 1000°C.

4) IC Temperatur Tranduser

Berfungsi untuk mengubah suhu menjadi tegangan/ arus tertentu yang sesuai dengan perubahan suhu. Sensor yang berupa IC ini memiliki respon yang lambat dan jangkauan temperatur yang diukur mempunyai jangkauan di bawah 200°C. IC ini sangat praktis, karena diantara sensor temperature yang ada, sensor IC memiliki keluaran yang paling linier.

Termistor

Termistor atau *tahanan thermal* adalah alat semikonduktor yang berkelakuan sebagai tahanan dengan koefisien tahanan temperatur yang tinggi yang biasanya negatif. Umumnya tahanan termistor pada temperatur ruang dapat berkurang 6% untuk setiap kenaikan temperatur sebesar 1°C. Kepekaan yang tinggi terhadap perubahan temperatur ini membuat termistor sangat sesuai untuk pengukuran, pengontrolan dan kompensasi temperatur secara presisi. Termistor terbuat dari bahan campuran oksida-oksida logam yang diendapkan seperti; mangan, nikel, kobalt, tembaga, besi dan uranium. Rangkuman tahanannya adalah dari 0,5Ω sampai 7,5 MΩ dan tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran. Ukuran paling kecil adalah berbentuk manik-manik (beads) dengan diameter sebedar 0,15 mm samnpai 1,25 mm. Manik-manik ini dapat disegel dalam ujung batang gelas untuk membentuk jarum penduga (probe) yang sedikit lebih mudah memasangnya dari pada manik-manik. Bentuk piringan (disk) dan cincin *washer* dibuat menjadi bentuk silinder datar dengan diameter 2,5 mm sampai 25 mm dengan memadatkan bahan termistor dengan temperatur tinggi. Cincin-cincin dapat ditumpukkan secara seri atau paralel guna membesarkan disipasi daya. Gambar 1 memperlihatkan jenis-jenis termistor.

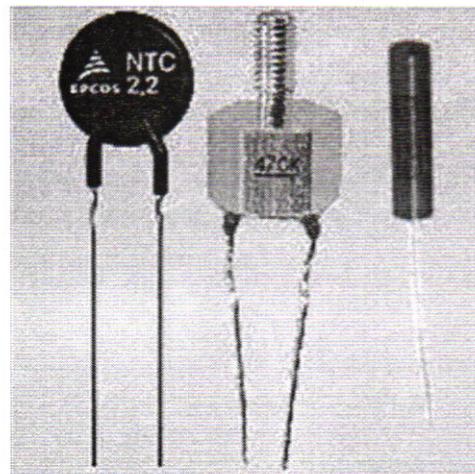
Bentuk termistor

- a. Butiran, digunakan pada suhu < 175°C dan memiliki nilai resistansi 16 Ω hingga 1 MΩ.
- b. Keping, digunakan dengan cara direkatkan langsung pada benda yang diukur panasnya.
- c. Batang, digunakan untuk memantau perubahan panas pada peralatan

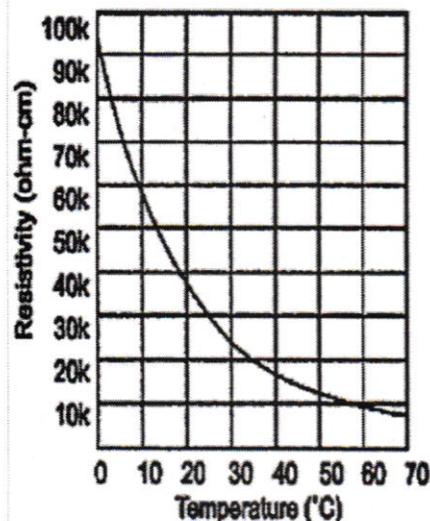
elektronik, mempunyai resistansi tinggi dan disipasi dayanya sedang. Termistor dibuat sekecil-kecilnya agar mencapai kecepatan tanggapan (respon time) yang baik.

Termistor tipe NTC(negatif temperature coefficient)

Termistor jenis ini mempunyai koefisien temperatur negatif atau nilai resistansinya akan berkurang jika temperatur naik. Termistor NTC mempunyai karakteristik yang khas seperti dapat dilihat pada gambar 2. Pada gambar 2 tersebut tampak bahwa hubungan resistansi (keluaran) yang dihasilkan merupakan fungsi yang non-linier terhadap temperatur (masukan).



Gambar 1. Jenis-jenis termistor



Gambar 2. Karakteristik tahanan vs temperatur

Tahanan termistor NTC akan berkurang secara eksponensial, jika suhunya bertambah. Hubungan antara tahanan dan suhu termistor diekspresikan pada persamaan (1).

$$R = R_0 \cdot \exp B/T \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

- R = tahanan termistor (Ohm) pada suhu T,
- R₀ = Tahanan termistor pada suhu awal T₀ (Ohm),
- B = Konstanta termistor (K) dan T = Suhu termistor (K).

Konstanta termistor (B) dari persamaan (1) dapat dicari dengan persamaan (2):

$$B(T_c) = B[1 + \gamma(T_c - 100)] \dots\dots\dots(2)$$

dengan, B = konstanta termistor (K), tipikalnya sekitar 4000 °K. T_c merupakan temperatur pada saat T dalam derajat celcius (T_c = T - 273,15° K). $\gamma = 2,5 \times 10^{-4}/K$ untuk T > 100°C dan $\gamma = 5 \times 10^{-4}/K$ untuk T < 100°C.

Sensitivitas termistor dapat diketahui dengan memakai persamaan (3).

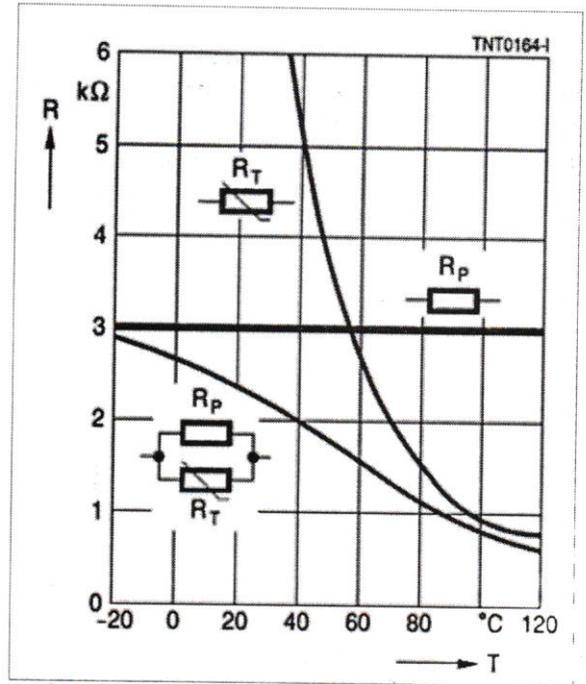
$$\alpha = \frac{-B}{T^2} \dots\dots\dots(3)$$

dengan, α = sensitifitas termistor, B = koefisien termistor dalam °K, T = suhu dalam °K. Semakin besar harga α dan B, kualitas termistor semakin baik.

Dengan karakteristik termistor yang tidak linear, maka perlu ditambahkan rangkaian agar menjadi keluaran yang linier. Berikut ini adalah beberapa cara untuk melinierisasikan. Adapun metoda-metoda yang digunakan ialah :

a. Menggunakan rangkaian paralel.

Rangkaian paralel digunakan untuk melinierkan karakteristik dari termistor. Termistor diparalelkan dengan sebuah resistor R. Gambar 3 memperlihatkan karakteristik linearitas dari termistor yang menggunakan rangkaian paralel.



Gambar 3. Karakteristik R-T menggunakan rangkaian paralel

Dari persamaan 4 dapat dicari nilai resistor R yang akan diparalelkan dengan sebuah termistor.

$$R_p = R_{t,m} \frac{\beta - 2T_m}{\beta + 2T_m} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana R_p = resistor paralel, R_{t,m} = tahanan termistor pada temperatur tengah pengukuran, β = Konstanta termistor (K), T_m = temperatur tengah pengukuran. Persamaan di atas digunakan jika dalam mencari nilai R_p-nya menggunakan β . Terdapat cara lain untuk menentukan nilai R_p dengan menggunakan titik pengukuran minimum (T₁), titik pengukuran tengah (T₂), dan titik pengukuran maksimum (T₃). Dengan menggunakan persamaan 5 dapat diketahui nilai R_p.

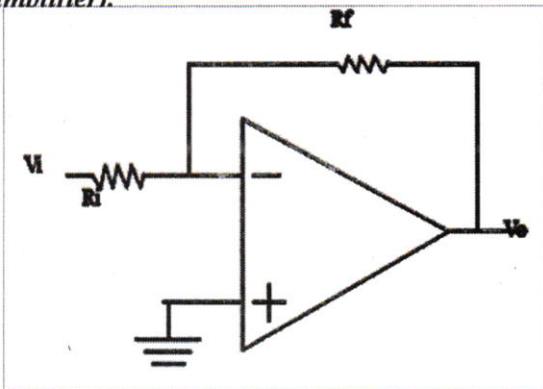
$$R_p = \frac{RT_2(RT_1 + RT_3) - 2RT_1RT_3}{RT_1 + RT_3 - 2RT_2} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana R_p = resistor paralel, RT₁ = tahanan resistor pada temperatur minimum pengukuran, RT₂ = tahanan resistor pada temperatur tengah pengukuran, RT₃ = tahanan resistor pada temperatur maksimum pengukuran.

Penguat Inverting (Penguat Membalik)

Inverting amplifier ini, input dan outputnya berlawanan polaritas. Jadi ada

tanda minus pada rumus penguatannya. Penguatan *inverting amplifier* adalah bisa lebih kecil nilai besaran dari 1, misalnya -0.2, -0.5, -0.7, dst dan selalu negatif. Besarnya penguatan tergantung pada nilai tahanan umpan baliknya. **Gambar 4 memperlihatkan rangkaian dari sebuah penguat membalik (inverting amplifier).**



Gambar 4 Penguat Inverting (penguat membalik)

Besarnya penguatan pada penguat inverting dapat dihitung dengan persamaan 7.

$$V_o = -\frac{R_f}{R_i} \times V_i \dots\dots\dots(7)$$

Dimana, V_o = tegangan output (Volt), R_f = tahanan balik(Ω), R_i = tahanan masukan op-amp(Ω), V_i = tegangan masukan (Volt).

Mikrokontroler [2]

Mikrokontroler adalah suatu sistem mikroprosesor yang lengkap dan dikemas dalam bentuk sebuah IC (single chip). Mikrokontroler merupakan terobosan teknologi mikroprosesor untuk memenuhi kebutuhan pasar. Sebagai kebutuhan pasar, mikrokontroler hadir untuk memenuhi selera industri dan para konsumen yang menginginkan alat-alat bantu yang lebih baik dan canggih. Atmega 8535 adalah mikrokontroler CMOS 8-bit daya-rendah berbasis arsitektur RISC yang ditingkatkan. Kebanyakan instruksi dikerjakan pada satu siklus clock, Atmega 8535 mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz membuat disainer sistem untuk mengoptimasi konsumsi daya versus kecepatan proses.

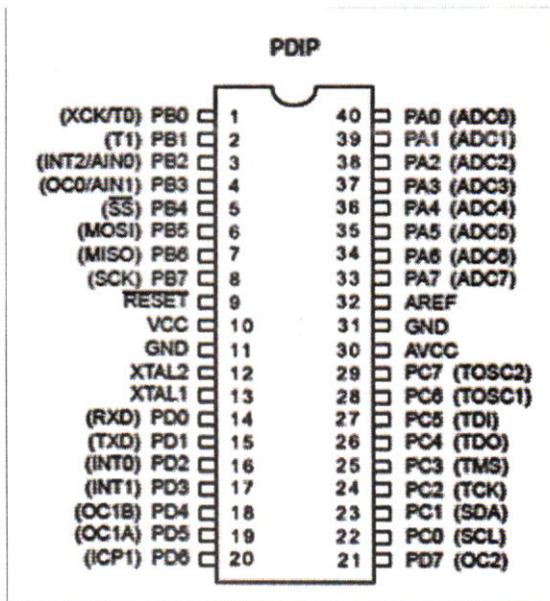
Mikrokontroler tipe AVR Atmega 8535 memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan mikrokontroler yang lain, diantaranya :

- a) Mempunyai 8 channel ADC yang terintegrasi dengan resolusi 10 bit dengan metode pengkonversian menggunakan *Successive Aproximation*.
- b) Dilengkapi dengan *programmable serial USART*.
- c) Portal komunikasi serial (USART) dengan kecepatan 2,5 Mbps.
- d) Memiliki perangkat antar muka *serial Two – Wire* dengan orientasi byte.
- e) Memiliki *timer* internal yang dapat difungsikan sebagai *Real-Time Timer*.
- f) Memiliki fungsi *watchdog timer* yang dapat mencegah mikrokontroler dari kesalahan operasi.
- g) Memiliki 6 fungsi untuk menghemat energi yang digunakan, yaitu : *idle, ADC noise reduction, power save, power down, standby, dan extended standby mode*.
- h) Memiliki *timer* yang dapat difungsikan sebagai PWM (Pulse width Modulation).
- i) Memiliki 32 buah register untuk *user* dan 64 buah register yang digunakan sebagai pengontrol fitur-fitur yang terintegrasi dalam mikrokontroler ini.

Atmega 8535 ini memiliki 4 buah *port* dengan masing-masing berjumlah 8 bit. Konfigurasi pin Atmega 8535 dapat dilihat pada Gambar 5. Secara fungsional konfigurasi pin Atmega8535 sebagai berikut:

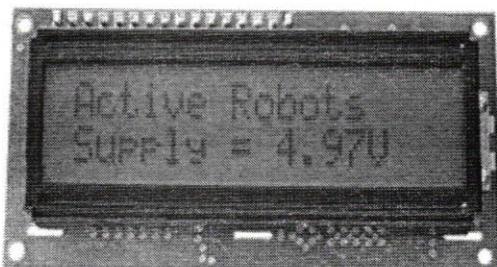
- a. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya.
- b. GND merupakan pin *ground*.
- c. Port A (PA0..PA7) merupakan pin I/O dua arah dan pin masukan ADC.
- d. Port B (PB0..PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus untuk *Timer/Counter*, Komparator analog, dan SPI.
- e. Port C (PC0..PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin khusus untuk TWI, Komparator analog, dan *Timer Oscilator*.
- f. Port D (PD0..PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin khusus untuk Komparator analog, Interupsi eksternal, dan Komunikasi serial.

- g. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroller.
- h. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan clock eksternal.
- i. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
- j. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.



Gambar 5 Konfigurasi pin Atmega 8535 LCD

Liquid Cell Display (LCD) merupakan salah satu alat untuk tampilan. LCD memiliki berbagai macam ukuran mulai dari 1 sampai 4 baris, 16 sampai 40 karakter per baris. Meskipun LCD memiliki berbagai macam ukuran tetapi penggunaannya hampir sama. Pada umumnya LCD memiliki 16 pin yang terbagi atas jalur data, kontrol, *power* dan *backlight*. Pada gambar 2.10 merupakan sebuah LCD yang berukuran 16 x 2 dimana LCD ini menampilkan 16 kolom karakter dan 2 baris karakter. Pada gambar 6 merupakan bentuk LCD tipe 16x2.



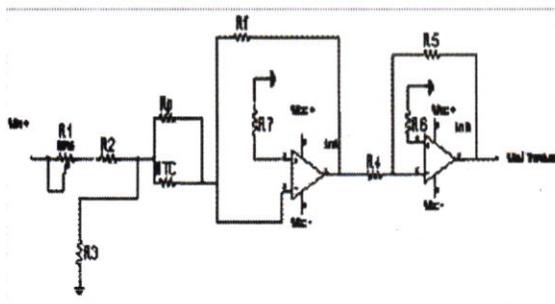
Gambar 6 LCD tipe 16x2

Pembuatan dan Pengujian

Pada pembuatan tranduser temperatur menggunakan termistor, dibutuhkan beberapa komponen agar menghasilkan output berupa tegangan yang merepresentasikan temperatur yang diukur, oleh krena itu dibutuhkan beberapa komponen elektronik diantaranya ialah : catu daya, dioda, ICLM 7812, IC LM 723, termistor, IC TL 082, resistor , potensio, kapasitor, LED, LCD, dan transformator.

Rangkaian Tranduser Temperatur

Rangkaian pada gambar 7. merupakan rangkaian dari tranduser temperatur. Termistor dipasang paralel sebelum input pada rangkaian *inverting*. Tegangan input ±12volt akan melalui termistor yang kemudian menjadikannya tegangan input pada rangkaian *inverting*. Keluaran dari *inverting* 1 diumpun balik oleh R₁ dan menjadi input pada rangkaian *inverting* 2 agar keluarannya memiliki polaritas positif [3].



Gambar 7 Linearisasi menggunakan rangkaian paralel

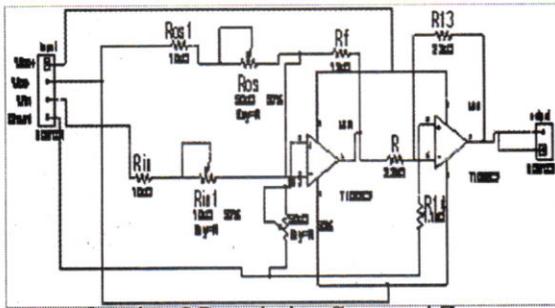
Rangkaian tranduser yang dibuat diberikan tegangan input sebesar 12V. Tahanan R1 dan R2 berfungsi mengatur tegangan yang melewati termistor. Arus yang melewati termistor kurang dari 100µA agar tidak terjadi pemanasan sendiri(*self heating*) pada termistor.

Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal merupakan sebuah rangkaian untuk mengkondisikan sinyal keluaran dari sebuah tranduser. Rangkaian pengkondisi sinyal ini biasa disebut sebagai rangkaian *span and zero*. Rangkaian *span and zero* ini merupakan sebuah rangkaian penguat operasional. Pada alat yang dibuat digunakan rangkaian *span and zero* yang merupakan rangkaian penguat penjumlah. Gambar 8 memperlihatkan rangkaian *span and zero* [4].

Tranduser Temperatur yang Dibuat

Gambar-9 memperlihatkan foto tranduser temperatur yang dibuat. Semua blok rangkaian, mulai dari rangkaian catu daya, rangkaian tranduser, rangkaian pengkondisi sinyal, rangkaian mikrokontroler, dan LCD dijadikan satu dalam sebuah box.



Gambar 8 Rangkaian *Span and Zero*



Gambar 9 Tranduser Temperatur

Pengujian Alat

Pengujian dilakukan dengan menguji tahanan termistor dan rangkaian tranduser. Dengan menguji tahanan termistor dapat diketahui karakteristik termistor dan karakteristik linearisasinya. Pengujian alat dilakukan dengan memasang semua rangkaian dari catu daya hingga ke rangkaian pengkondisi sinyal. Pengujian dilakukan dengan cara memasukkan termistor ke dalam gelas kimia yang berisi air. Air dikondisikan sesuai temperatur yang menjadi batas pengukuran. Gambar 10 memperlihatkan foto pengujian. Parameter yang ada dicatat sebagai data untuk dianalisis. Pengujian ini menggunakan thermometer digital yang digunakan sebagai standar pengukuran. Pengkondisian media yang berupa air dilakukan melalui pemanasan dan

pengadukan agar temperatur terdistribusi secara merata di semua tempat.

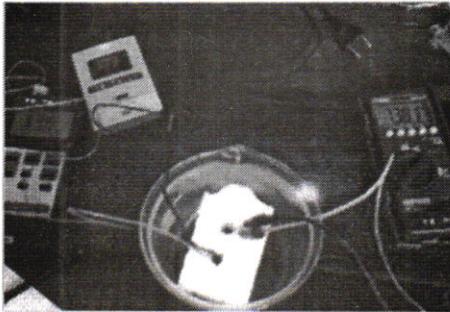
Data dan Pengamatan

Hasil pengujian kemudian dicatat dan ditabelkan sebagaimana ditunjukkan pada tabel-1. Tabel-1 memperlihatkan data karakteristik statik termistor yang digunakan.

Tabel 1. Tabel Pengamatan Tranduser Temperatur

Temp. °C	Thermometer °C	NTC ohm	Rp ohm
20	20	2500	1084
21	21	2410	1084
22	22,1	2310	1084
23	23	2266	1084
24	24,1	2208	1084
25	25	2125	1084
26	26,1	2044	1084
27	27	1985	1084
28	28,1	1905	1084
29	28,9	1836	1084
30	30	1775	1084
31	31	1732	1084
32	32,1	1660	1084
33	33	1590	1084
34	34,1	1540	1084
35	35	1480	1084
36	36	1434	1084
37	37	1393	1084
38	38	1355	1084
39	38,9	1303	1084
40	40	1250	1084
41	41,1	1204	1084
42	42	1166	1084
43	43	1142	1084
44	44	1126	1084
45	45,1	1108	1084
46	46	1085	1084
47	46,9	1043	1084
48	48	1000	1084
49	49,1	968	1084
50	50,1	938	1084

Tabel-2 memperlihatkan data keluaran di rangkaian transduser dan di rangkaian zero dan span.

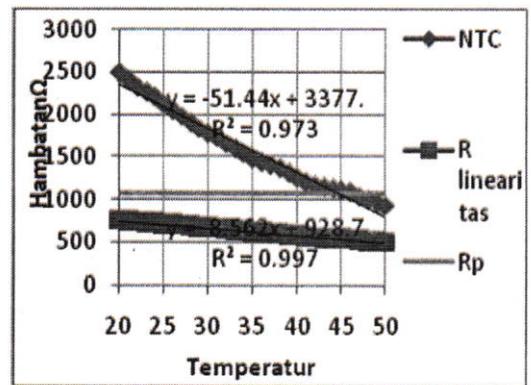


Gambar 10. Pengujian tranduser temperatur

Tabel-2 Data output

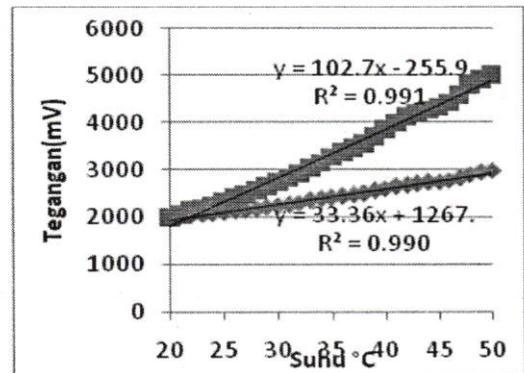
R linearitas ohm	V tranduser volt	V span zero volt
756,14	1995,785	1,990
747,69	2018,328	2,051
737,78	2045,435	2,135
733,24	2058,120	2,174
727,06	2075,614	2,228
717,82	2102,309	2,311
708,34	2130,452	2,398
701,12	2152,396	2,466
690,87	2184,323	2,565
681,58	2214,094	2,657
673,00	2242,341	2,745
666,72	2263,449	2,810
655,77	2301,240	2,928
644,56	2341,263	3,052
636,19	2372,078	3,147
625,71	2411,805	3,270
617,34	2444,513	3,372
609,61	2475,488	3,468
602,22	2505,869	3,562
591,73	2550,315	3,700
580,55	2599,421	3,852
570,43	2645,546	3,995
561,75	2686,395	4,122
556,12	2713,594	4,206
552,30	2732,371	4,264
547,93	2754,144	4,332
542,25	2783,016	4,421
531,55	2839,024	4,595
520,15	2901,239	4,788
511,36	2951,127	4,910
502,86	2995,638	5,000

Dari tabel data yang diperoleh kemudian dibuat grafik yang menunjukkan karakteristik dari NTC dan tranduser temperatur yang dibuat. Pada gambar 11 terlihat hubungan antara karakteristik NTC dan metoda linierisasi menggunakan rangkaian paralel. Karakteristik NTC yang tidak linear terlihat pada gambar, terlihat bahwa dengan menambahkan sebuah tahanan yang disusun secara *shunt/parallel* membuat karakteristik dari nilai resistansinya menjadi lebih linier



Gambar 11. Karakteristik NTC & linearisasi NTC

Terlihat pada garis yang menunjukkan karakteristiknya, nilai gradien dari kedua garis memiliki nilai yang berbeda. Pada garis NTC memiliki gradien yang lebih besar dari pada gradien pada garis NTC yang telah dilinearkan. Pada grafik di atas terlihat garis merah lebih linier dibandingkan dengan garis biru. Hal ini menunjukkan NTC telah linier. Kelinieran dari NTC terlihat pada grafik temperatur terhadap tegangan.



Gambar 12. Karakteristik Suhu terhadap Vout.

Gambar 12 memperlihatkan grafik hubungan antara temperatur dan tegangan. Garis biru merupakan karakteristik dari tranduser yang tidak linier dan garis merah merupakan karakteristik dari rangkaian pengkondisi sinyal.

Dari grafik terlihat karakteristik tranduser hanya memiliki tegangan maksimal pada keluarannya sebesar 3 Volt. Dengan menggunakan pengkondisi sinyal dapat dibuat keluarannya dari 2 Volt hingga 5 Volt. Pada grafik, garis biru yang menggambarkan karakteristik dari sebuah tranduser dari termistor NTC memiliki garis yang linier pada keluarannya (tegangan output tranduser). Pada tabel di atas, tahanan termistor setelah linierisasi berkisar dari 756 Ω pada temperatur 50°C, dan 502 Ω pada kondisi temperatur 50°C.

Simpulan

Beberapa simpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian *tranduser temperatur* yang telah dibuat adalah :

1. Tahanan termistor memiliki *range* 2500 Ω pada temperatur 20°C dan 938 Ω pada temperatur 50°C.
2. Tegangan output pada tranduser berkisar dari 2 Volt pada kondisi temperatur 20°C hingga 3 Volt pada temperatur 50°C.
3. Tegangan dari pengkondisi sinyal telah tercapai dengan masukan tegangan yang hanya 2 V hingga 3 V dari tranduser menjadi 2 V hingga 5 V.
4. Dengan metoda linierisasi, tahanan pada termistor menjadi lebih linier.
5. Termistor linierisasi memiliki kenaikan sekitar $\pm 60 \Omega$ setiap/°C dan $\pm 40 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.

Notasi

R	Hambatan	[ohm]
V	Tegangan	[Volt]
T	Temperatur	[Kelvin]
I	Arus	[Amper]

DAFTAR PUSTAKA

1. Areny, Ramon Pallas. dan John G. Webster. 1991. *Sensors And Signal Conditioning*. Amerika Serikat: John Wiley & Sons, Inc.
2. Budiharto, Widodo dan Sigit Firmansyah. 2005. *Elektronika Digital Dan Mikroprosesor*. Yogyakarta: ANDI

3. Coughlin, Robert F. Dan Frederick F. Driscoll. 1994. *Penguat Operasional Dan Rangkaian Terpadu Linear*. Jakarta: Erlangga.
4. Tompkins, Willis J. dan John G. Webster.(Editor). 1983. *Interfacing Sensor To The IBM PC*. University Of Wiscensin-Madison.