

LINIERISASI SENSOR THERMISTOR NTC MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK DENGAN METODE LOGARITMIK

Wahyu Budi Mursanto, Hartono Budi Santoso, Sri Utami

Jurusan Teknik Konversi Energi – Politeknik Negeri Bandung

Email : wahyumursanto@gmail.com, hartono@esi-labs.com, utamihu@yahoo.com

Abstrak

Hubungan resistansi thermistor dengan temperatur merupakan fungsi eksponensial dan biasa dinyatakan dalam Persamaan Beta, namun relasi tersebut benar apabila temperatur yang digunakan adalah dalam satuan derajat Kelvin. Dalam penelitian ini akan dicari suatu relasi tegangan hasil pengukuran dengan temperatur, namun dalam satuan derajat Celcius. Untuk itu akan dicari suatu model matematik thermistor yang mempunyai fungsi dengan karakteristik eksponensial yang memenuhi relasi tersebut. Teknik linierisasi dilakukan dengan mencari fungsi invers dari model matematik tersebut yang merupakan fungsi logaritmik untuk mendapatkan kembali nilai temperatur yang diinginkan. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa model matematik dengan fungsi Gompertz plus konstanta memberikan kecocokan yang paling sesuai antara model matematik dengan sebaran data. Dengan menggunakan metoda linierisasi secara software menggunakan arduino diperoleh hasil ketelitian pembacaan temperatur yang paling baik dengan derajat kesalahan $\pm 0,04$ °C pada rentang pengukuran 10°C sampai dengan 90°C.

Kata Kunci : Thermistor, NTC, non-linier, linierisasi, logaritmik

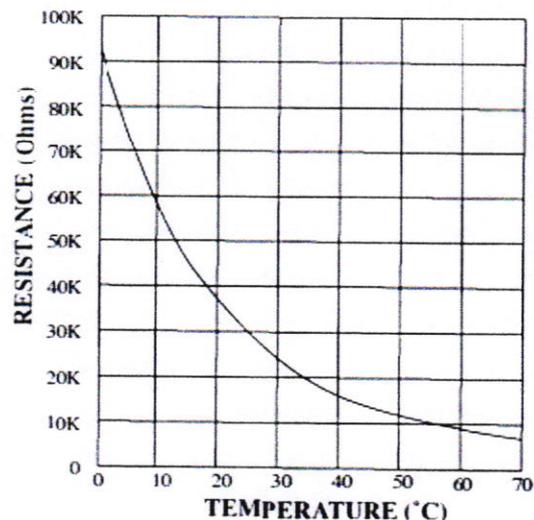
1. PENDAHULUAN

Thermistor merupakan salah satu sensor temperatur yang mempunyai respon waktu yang cepat, serta bentuknya yang fleksibel sehingga banyak diaplikasikan di dunia industri atau penggunaan sehari-hari. Sensor thermistor dapat mempunyai ukuran yang sangat kecil, ringan, dengan berbagai bentuk yang beraneka ragam. Karena bentuknya yang dapat kecil dengan sensitivitas yang tinggi, maka sensor ini bisa digunakan untuk mengukur perubahan temperatur dengan cepat.

Dengan bentuk yang kecil, maka konstanta waktu (time constant) dari sensor ini menjadi lebih kecil. Dengan demikian, waktu pengukuran akan menjadi lebih cepat pula. Namun kelemahan dari sensor thermistor mudah pecah (fragile) dan jangkauan temperaturnya terbatas, jika dibandingkan dengan sensor temperatur lainnya seperti termokopel atau PT-100.

Thermistor yang digunakan pada penelitian ini mempunyai koefisien resistansi yang negatif atau biasa disebut dengan NTC (Negative Temperature Coefficient). Artinya, dengan naiknya temperatur, nilai resistansi yang terjadi akan semakin kecil. Perubahan yang terjadi adalah non-linier (eksponensial).

Gambar 1. memperlihatkan karakteristik perubahan resistansi terhadap temperatur dari thermistor (NTC) yang non-linier.



Gambar 1. Karakteristik Thermistor NTC

Pada aplikasi untuk pengukuran temperatur yang lebih teliti, karakteristik yang non-linier dari sensor temperatur merupakan persoalan, untuk itu diperlukan teknik linierisasi agar mempermudah dalam pengukuran. Metoda linierisasi dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat keras ataupun perangkat lunak.

Keuntungan metoda linierisasi dengan menggunakan perangkat keras adalah bahwa biasanya pengukuran yang dilakukan tidak ada waktu tunda dan biaya yang dikeluarkan menjadi lebih murah. Kerugiannya adalah bahwa biasanya ketelitian yang diperoleh agak kurang bila dibandingkan dengan menggunakan perangkat lunak (software). Untuk memperoleh ketelitian yang setara dengan cara menggunakan perangkat lunak, maka rangkaian *hardware* yang diperlukan menjadi lebih kompleks dan mahal.

Keuntungan menggunakan perangkat lunak semua persoalan yang ada dapat diselesaikan melalui improvisasi secara luas menggunakan berbagai perhitungan dan algoritma dikarenakan kemudahan fasilitas pada perangkat komputer, sehingga akan menghasilkan hasil yang lebih teliti. Kerugiannya adalah masih memerlukan biaya yang mahal dan jika algoritma yang digunakan tidak tepat, akan membuat waktu komputasi mejadi lebih lama, sehingga berakibat pada penundaan pengukuran.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Metoda linierisasi dengan menggunakan perangkat keras (rangkaiian elektronik) dapat dilakukan dengan cara merangkai sensor secara parallel [1], secara seri [2], atau dengan menggunakan jembatan Wheatstone [3]. Linierisasi secara hardware juga bisa dilakukan dengan menggunakan metoda Op-Amp [4], atau menggunakan perangkat keras dengan membentuk rangkaian logaritmik [5].

Persoalan pada perancangan perangkat keras dengan menggunakan penguat logaritmik banyak menemui hambatan, terutama pada pemilihan komponen yang sesuai dan pengaruh perubahan temperatur komponen yang sering mengganggu proses linierisasi.

Dengan semakin maju dan berkembangnya teknologi pemrosesan data dengan menggunakan piranti mikroprosesor (komputer), maka model penguat logaritmik menjadi lebih mudah untuk diimplementasikan melalui perangkat lunak yang mendukung mikroprosesor tersebut. Beberapa penelitian atau teknik linierisasi lain dengan menggunakan perangkat lunak yang sudah

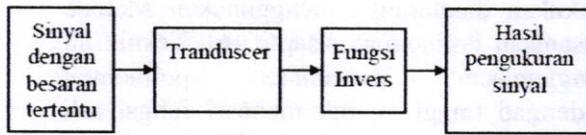
dilakukan diantaranya menggunakan Metoda Persamaan Polinomial Adaptif [6]. Teknik ini menggunakan persamaan polinomial berderajat tinggi untuk mencari fungsi asli dan kemudian mencari pendekatan fungsi inversnya. Pendekatan fungsi dilakukan sedikit demi sedikit dengan menggunakan iterasi sampai kemudian diperoleh suatu fungsi yang diinginkan. Tujuan dari algoritma ini adalah mencari nilai koefisien sedemikian rupa sehingga didapatkan nilai rata-rata kuadrat error yang sekecil mungkin. Keterbatasan pada metode ini adalah bahwa ketelitian yang diperoleh didasarkan pada mutu data yang digunakan.

Aplikasi dengan menggunakan perangkat lunak yang lain juga dapat dilakukan dengan metoda *Look-up Table* [7]. Teknik ini bukan melinierkan sinyal yang ada, tetapi membuat hasil pengukuran seperti apa adanya, berdasarkan pada data titik-titik pengukuran (data temperatur) dan hasil pengukurannya (resistansi atau tegangannya), sehingga dari tabel antara masukan dan keluaran tersebut dapat dibuat suatu konversi secara langsung hubungan antara masukan dan keluarannya.

Cara ini memang menarik dan tidak memerlukan teknik linierisasi, namun ketelitiannya tergantung pada data titik-titik yang sudah ditentukan atau dibuat. Jika titik-titik tersebut tidak ada pada data dari tabel yang sudah dibuat, maka tidak akan keluar nilainya (keluarannya). Kekurangan ini sebenarnya dapat didekati dengan membuat pendekatan garis lurus diantara kedua titik untuk mencari nilai diantara kedua titik tersebut.

Penelitian ini mencoba untuk mencari suatu fungsi yang merupakan fungsi invers dari fungsi karakteristik sensor thermistor. Hubungan antara masukan (temperatur) dan keluaran (resistansi) pada sensor thermistor mempunyai karakteristik sebagai fungsi eksponensial. Fungsi invers dari fungsi eksponensial adalah fungsi logaritmik.

Metoda yang dilakukan pada penelitian adalah dengan merekonstruksi sinyal asli sehingga diperoleh persamaan eksponensialnya. Gambar 2-1 memperlihatkan diagram kotak pengukuran sinyal [6].



Gambar-2 Pengukuran sinyal

Jika diandaikan bahwa sinyal asli adalah T (besaran yang diukur adalah temperatur), maka setelah melewati transduser maka sinyal tersebut menjadi suatu fungsi $y = f(T)$, dengan $f(.)$ adalah karakteristik dari transduser atau rangkaian elektronik. Besaran y ini sebenarnya adalah besaran tahanan. Dengan memasukkan pada suatu rangkaian elektronik tertentu (pengkondisi sinyal) dengan fungsi $v(.)$ maka fungsi masukan $y = f(T)$ akan menjadi fungsi $h = v(y)$ atau $h = v(f(T))$. Agar dihasilkan pengukuran yang sama dengan sinyal asli yang diukur, maka h harus sama dengan T atau $v(f(t)) = T$. Untuk memperoleh ini, maka fungsi $v(.)$ harus merupakan fungsi invers dari $f(.)$.

3. METODOLOGI

Thermistor yang mempunyai karakteristik non linier sudah memiliki persamaan dasar yang merupakan fungsi eksponensial. Model matematika dari thermistor diperlihatkan pada persamaan-1, disebut sebagai Persamaan Beta [8].

$$R_T = R_0 e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan :

- R_T = Nilai tahanan (Ω) pada temperatur T
- R_0 = Nilai tahanan (Ω) pada temperatur ambient
- β = Konstanta (material thermistor)
- T_0 = Temperatur ambient ($^{\circ}K$)
- T = Temperatur ($^{\circ}K$)

Berdasarkan pada persamaan-1 tersebut di atas, maka fungsi invers dengan mudah dapat diperoleh dan ditunjukkan pada persamaan-2.

$$T = \frac{\beta}{\ln(\frac{R_T}{R_0}) + (\frac{\beta}{T_0})} \dots\dots\dots(2)$$

Jika nilai R_t dapat dikonversikan menjadi nilai tegangan, maka secara prinsip nilai T dapat diperoleh berdasarkan pada persamaan-2.. Masih mirip dengan hal yang dijelaskan di atas, adalah suatu persamaan thermistor yang ditemukan oleh Prof. Steinhart dan Dr. Hart

sebagaimana ditunjukkan pada persamaan-3 [9].

$$\frac{1}{T} = A + B \ln[R] + C[\ln(R)]^3 \dots\dots\dots(3)$$

T dalam derajat Kelvin dan R dalam Ohm

Persamaan-3 ini dikenal dengan persamaan Stenhardt-Hart. Persamaan ini bahkan langsung memberikan nilai T jika R diketahui. Namun, persamaan-1 sampai 3 hanya berlaku untuk domain temperatur dalam derajat temperatur mutlak (derajat Kelvin). Artinya, untuk memperoleh nilai temperatur dalam derajat Celcius, maka nilai T harus dikurangi dengan nilai 273. Jika solusi ini diterapkan, maka hal ini sudah menjawab persoalan yang ada. Namun, bukan hal ini yang diinginkan dalam penelitian ini.

Penelitian ini menghendaki adanya suatu hubungan langsung keluaran sistem (tegangan) terhadap temperatur masukan dalam domain derajat Celcius. Karena thermistor merupakan fungsi non linier yang merupakan fungsi eksponensial, maka model matematik yang baru ini belum tentu sama dengan model seperti pada persamaan-1. Persamaan atau model matematik yang baru ini yang akan dicari untuk kemudian akan dihitung fungsi inversnya.

Rekonstruksi sinyal akan dilakukan dengan menggunakan aplikasi yang sudah banyak tersedia, misalnya menggunakan fasilitas pada aplikasi Excell.. Dari hasil rekonstruksi tersebut akan diuji terlebih dahulu, apakah hasil rekonstruksi sudah memberikan hasil yang memadai apa belum. Hal ini dilakukan dengan cara memasukkan kembali nilai-nilai masukan dan harus menghasilkan nilai keluaran yang sama (dengan derajat ketelitian atau toleransi tertentu) berdasarkan data yang ada pada semua jangkauan pengukuran temperatur yang direncanakan. Apabila hasilnya masih tidak memuaskan, maka harus dicari cara sedemikian rupa sehingga model matematik fungsi eksponensial yang benar dapat diperoleh.

Pada penelitian ini jika rekonstruksi tidak menghasilkan suatu fungsi yang tepat, maka hal ini dapat terjadi dikarenakan jangkauan pengukuran yang terlalu besar. Untuk itu, dalam melakukan penyelesaiannya

akan dibuat suatu konstruksi dengan membagi jangkauan pengukuran yang besar tersebut dalam 2 jangkauan pengukuran atau lebih. Dengan demikian akan diperoleh 2 atau lebih fungsi eksponensial hasil konstruksi sinyal. Cara lain adalah dengan memanfaatkan model-model matematik suatu fungsi eksponensial yang sudah ada dan mencoba mencocokkan apakah model matematik tersebut cocok atau tidak.

Dengan diperolehnya fungsi eksponensial yang pasti, maka langkah terakhir adalah mencari fungsi inversnya. Fungsi invers akan ditentukan dengan menggunakan perhitungan matematika biasa atau dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan program aplikasi yang ada

Penelitian dilakukan dengan membuat rangkaian elektronik (penguat instrumentasi) sehingga sinyal tegangan output yang non-linier dari thermistor dapat diperoleh pada level yang cukup sesuai dengan level perangkat berikutnya (piranti Arduino Uno /ADC). Sinyal dimasukkan pada piranti Arduino Uno merupakan piranti *interface* yang menjembatani dunia analog dengan dunia digital sekaligus sebagai pemroses data perhitungan untuk linierisasi. ADC yang digunakan adalah 10 bit, agar resolusi sinyal tegangan (representasi besaran temperatur) yang dihasilkan dapat memadai.

Komputer pribadi (PC) merupakan tempat dimana program dibuat dan di-*edit* untuk kemudian hasilnya dieksekusi dan disimpan dalam Arduino Uno. Sekali program dimasukkan ke dalam Arduino maka Arduino sudah dapat digunakan sebagai piranti untuk mengerjakan seperti yang ditulis di program tanpa perlu PC lagi. Jadi fungsi Arduino adalah melakukan pembacaan data dari rangkaian sensor, kemudian mengolah data tersebut sesuai dengan program yang dimasukkan (dalam hal ini memproses hitungan dari fungsi invers model matematik yang sudah dibuat) dan mengirimkan data yang sudah diperoleh (pembacaan temperatur) ke piranti lain seperti LCD, layar PC atau perangkat yang lainnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pertama adalah melakukan pengujian resistansi thermistor terhadap

temperatur. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai tahanan pada jangkauan pengukuran yang ditetapkan. Dari tabel-1 tampak bahwa nilai tahanan tertinggi berada pada orde sekitar 33500 Ohm untuk temperatur sekitar 0°C, dan nilai terendah di sekitar 925 Ohm pada temperatur sekitar 90°C.

Nilai ini akan bermanfaat untuk merancang penguatan rangkaian sensor agar berada pada jangkauan di sekitar 0 sampai 5 Volt dc. Rangkaian sensor dibuat berdasarkan pada gambar-3.

Tampak bahwa rangkaian pengkondisi sinyal untuk sensor thermistor disusun dari dua penguat. Penguat pertama merupakan penguat membalik dengan penguatan bergantung pada nilai R sensor dibagi dengan R input dan hasilnya dikalikan dengan tegangan referensi (Vs). Dengan memilih nilai Vs = 1 Volt dan Rs sebesar 6,8 k Ohm, maka nilai tegangan keluaran Vout 1 pada penguat tingkat 1 adalah berkisar -0,1 Volt sampai dengan -4,95 Volt.

Fungsi dari penguat tingkat 2 adalah untuk membalik sinyal sehingga nilainya menjadi positif. Sehingga nilai akhir tegangan di penguat kedua berkisar dari 0,1 Volt sampai 4,95 Volt. jangkauan tegangan ini sudah cukup memadai karena sudah sangat dekat dengan jangkauan tegangan input untuk ADC yang digunakan yaitu dari 0 sampai dengan 5 Volt.

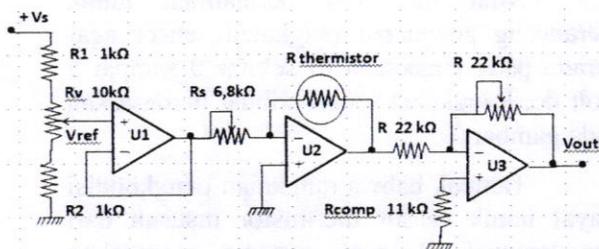
Tabel-1 Pengukuran tahanan sensor

NO	T (° C)	TAHANAN (OHM)
1	0,1	33503
2	5,3	25563
3	8,2	22091
4	10,6	19612
5	14,7	16080
6	17,5	14090
7	20,2	12434
8	25,4	9825
9	29,6	8180
10	35,3	6428
11	40,1	5275
12	44,8	4385
13	50	3590
14	55,1	2971
15	59,7	2515
16	64,8	2095
17	70,3	1744
18	74,5	1520
19	80,2	1256
20	85,5	1070
21	90,4	925

Pengujian berikutnya adalah melakukan kalibrasi rangkaian sensor. Pengujian dilakukan dengan mengganti sensor dengan

resistor yang sudah ditentukan nilainya pada nilai batas bawah dan batas atas pengukuran.

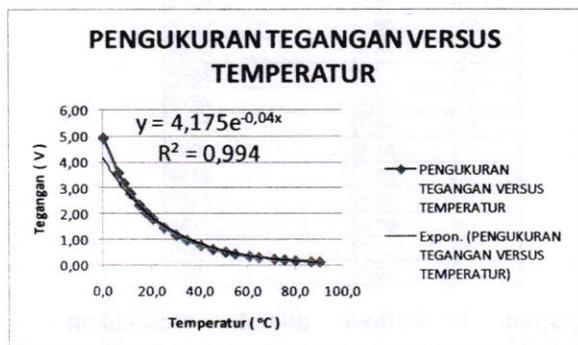
Tegangan yang dihasilkan harus sesuai dengan yang seharusnya. Jika belum sama dilakukan kalibrasi dengan mengatur resistor potensio sampai diperoleh hasil yang diinginkan.



Gambar-3 Rangkaian pengkondisi sinyal sensor

Tabel-2 Hasil pengukuran tegangan versus temperatur

NU	T (° C)	TEGANGAN (V)
1	0,2	4,90
2	6,3	3,57
3	8,7	3,17
4	11,4	2,77
5	15,0	2,333
6	17,7	2,054
7	20,5	1,804
8	25,1	1,465
9	30,1	1,180
10	34,5	0,980
11	40,4	0,768
12	45,3	0,632
13	50,5	0,519
14	54,6	0,445
15	60,6	0,359
16	64,5	0,315
17	71,0	0,251
18	75,4	0,218
19	80,0	0,187
20	86,5	0,152
21	90,1	0,137



Gambar-4 Kurva tegangan versus temperatur

Setelah terkalibrasi dengan benar, dilakukan pengambilan tegangan keluaran rangkaian untuk berbagai temperatur. Tabel-2 memperlihatkan hasil pengukuran tersebut, sementara gambar-4 memperlihatkan kurva yang dihasilkan dari pengukuran tersebut.

Tampak pula fungsi persamaan yang dihasilkan dengan menggunakan fasilitas pada program Excell. Secara fisik pendekatan fungsi dengan menggunakan fasilitas *trendline* memperlihatkan kurva yang mendekati data pengukuran. Tabel-3 memperlihatkan hasil perhitungan fungsi invers dari fungsi yang sudah dihasilkan berdasarkan pendekatan menggunakan program Excell.

Tabel-3 Hasil perhitungan fungsi invers dan selisih pengukuran

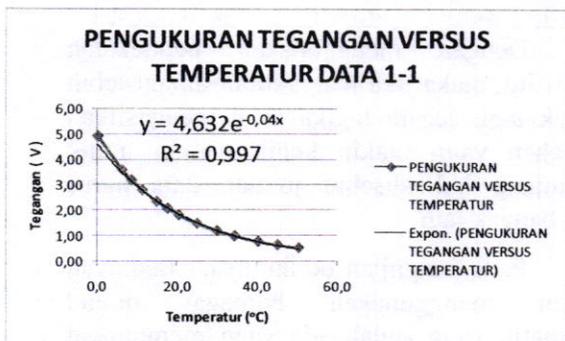
NO	T (° C)	TEGANGAN (V)	T - HITUNG (° C)	ERROR (° C)
1	0,2	4,90	-4,0	4,22
2	6,3	3,57	3,9	2,41
3	8,7	3,17	6,9	1,80
4	11,4	2,77	10,2	1,18
5	15,0	2,333	14,5	0,45
6	17,7	2,054	17,7	-0,04
7	20,5	1,804	21,0	-0,48
8	25,1	1,465	26,2	-1,07
9	30,1	1,180	31,6	-1,49
10	34,5	0,980	36,2	-1,74
11	40,4	0,768	42,3	-1,91
12	45,3	0,632	47,2	-1,89
13	50,5	0,519	52,1	-1,62
14	54,6	0,445	56,0	-1,38
15	60,6	0,359	61,4	-0,75
16	64,5	0,315	64,6	-0,07
17	71,0	0,251	70,3	0,72
18	75,4	0,218	73,8	1,63
19	80,0	0,187	77,7	2,30
20	86,5	0,152	82,8	3,71
21	90,1	0,137	85,4	4,74

Pada tabel-3 juga diperlihatkan selisih pengukuran temperatur jika dibandingkan dengan data aslinya. Tampak bahwa error berada di antara nilai 0,04 °C sampai dengan 4,74 °C. Hasil ini masih belum memperlihatkan hasil yang memadai.

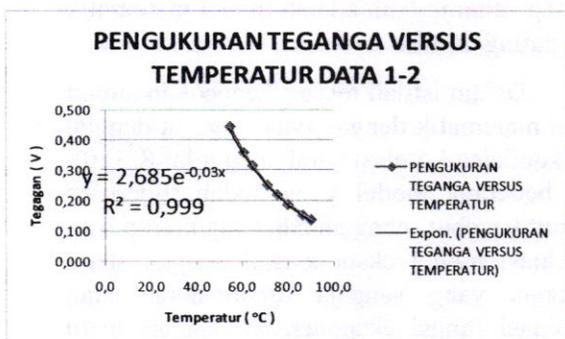
Pendekatan fungsi yang diperoleh pada jangkauan pengukuran temperatur yang cukup lebar memperlihatkan hasil yang kurang memadai, untuk itu dicoba dengan membagi jangkauan pengukuran menjadi setengahnya. Dengan cara ini akan diperoleh 2 fungsi yang berbeda. Fungsi yang pertama untuk jangkauan pengukuran dari 0°C sampai dengan 50 °C dan fungsi yang kedua untuk lebih dari

50 °C. Gambar-5 dan 6 memperlihatkan kurva dan persamaan fungsi yang dihasilkan. Tabel-4 dan 5 memperlihatkan selisih hasil perhitungan.

Tampak bahwa hasil yang diperoleh masih belum memadai juga, karena kesalahan atau *error* juga masih tinggi. Bahkan, hasil yang diperoleh dengan menggunakan 1 persamaan masih lebih baik dibandingkan dengan menggunakan 2 persamaan.



Gambar-5 Kurva tegangan untuk jangkauan temperatur 0 s/d 50 °C



Gambar-6 Kurva tegangan untuk jangkauan temperatur lebih dari 50 °C

Tabel-4 Hasil perhitungan fungsi invers dan selisih pengukuran 0 s/d 50°C

NO	T (° C)	TEGANGAN (V)	T HITUNG (° C)	ERROR (° C)
1	0,2	4,90	-1,4	1,62
2	6,3	3,57	6,5	-0,19
3	8,7	3,17	9,5	-0,80
4	11,4	2,77	12,8	-1,42
5	15,0	2,333	17,1	-2,14
6	17,7	2,054	20,3	-2,63
7	20,5	1,804	23,6	-3,08
8	25,1	1,465	28,8	-3,67
9	30,1	1,180	34,2	-4,08
10	34,5	0,980	38,8	-4,33
11	40,4	0,768	44,9	-4,51
12	45,3	0,632	49,8	-4,49
13	50,5	0,519	52,1	-1,62

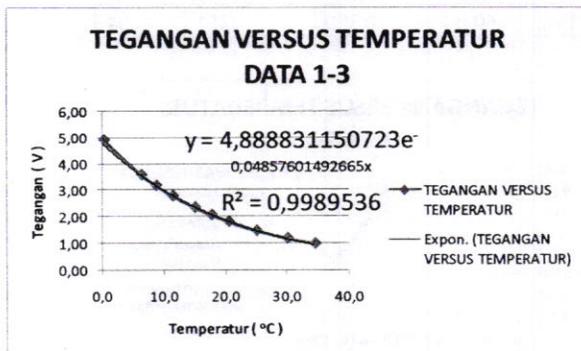
Tabel-5 Hasil perhitungan fungsi invers dan selisih pengukuran lebih dari 50°C

NO	T (° C)	TEGANGAN (V)	T HITUNG (° C)	ERROR (° C)
14	54,6	0,445	59,9	-5,32
15	60,6	0,359	61,4	-0,75
16	64,5	0,315	64,6	-0,07
17	71,0	0,251	70,3	0,72
18	75,4	0,218	73,8	1,63
19	80,0	0,187	77,7	2,30
20	86,5	0,152	82,8	3,71
21	90,1	0,137	85,4	4,74

Hal ini dapat terjadi karena banyaknya data yang digunakan menjadi berkurang setengahnya untuk merekonstruksi fungsi. Sebenarnya kecocokan model dengan data tidak ditentukan oleh banyaknya data, tetapi lebih ditentukan pada kecocokan dengan sebaran data yang ada.

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan membagi data menjadi tiga bagian. Pada pengujian ini pendekatan kecocokan fungsi menggunakan fasilitas program aplikasi Lab Fit (sebelumnya menggunakan program aplikasi Excell). Program aplikasi Lab Fit merupakan program aplikasi yang mempunyai *library* model matematik lebih lengkap.

Gambar-7 sampai dengan gambar-9 memperlihatkan kurva karakteristik tegangan versus temperatur dengan jangkauan pengukuran dibagi menjadi tiga bagian. Tabel-6 sampai dengan Tabel-8 memperlihatkan hasil dan selisih antara temperatur yang ada dengan hasil perhitungan. Dengan membagi menjadi tiga persamaan eksponensial yang berbeda , maka hasil yang diperoleh lebih bagus lagi, yaitu maksimum error adalah sebesar 1,41 °C.



Gambar-7 Kurva tegangan versus temperatur dengan sepertiga jangkauan temperatur yang pertama

Tabel-6 Hasil perhitungan fungsi invers (menggunakan Lab Fit) dan selisihnya untuk sepertiga jangkauan temperatur yang pertama.

NO	T (°C)	TEGANGAN (V)	T HITUNG (°C)	ERROR (°C)
1	0,2	4,90	-0,1	0,26
2	6,3	3,57	6,5	-0,15
3	8,7	3,17	8,9	-0,23
4	11,4	2,77	11,7	-0,27
5	15,0	2,333	15,2	-0,23
6	17,7	2,054	17,9	-0,15
7	20,5	1,804	20,5	-0,03
8	25,1	1,465	24,8	0,30
9	30,1	1,180	29,3	0,84
10	34,5	0,980	33,1	1,41

Tabel-8 Hasil perhitungan fungsi invers (menggunakan Lab Fit) dan selisihnya untuk sepertiga jangkauan temperatur yang ketiga

NO	T (°C)	TEGANGAN (V)	T HITUNG (°C)	ERROR (°C)
16	64,5	0,215	64,3	0,21
17	71,0	0,251	71,2	-0,23
18	75,4	0,218	75,5	-0,06
19	80,0	0,187	80,2	-0,23
20	86,5	0,152	86,4	0,08
21	90,1	0,137	89,5	0,56

Dengan menggunakan pendekatan seperti itu, maka jika pengukuran dibagi lebih banyak lagi, secara logika akan mengasikkan kesalahan yang makin kecil, namun untuk menunjang hal tersebut jumlah data harus lebih banyak lagi.

Pada pengujian berikutnya. dilakukan dengan menggunakan berbagai model matematik yang sudah ada yang mempunyai fungsi eksponensial. Pengujian dilakukan lebih dari 20 model matematik, namun dalam jurnal ini yang ditampilkan adalah model matematik yang paling cocok.

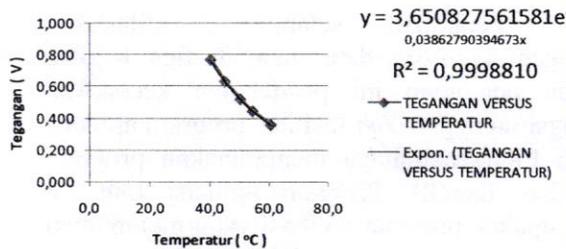
Dalam istilah regresi kecocokan antara model matematik dengan data disebut dengan nilai koefisien korelasi darab atau nilai R² [10]. Dari beberapa model yang sudah diperoleh tersebut tersebut sebagian ada yang merupakan kombinasi model eksponensial dengan suatu konstanta yang sengaja ditambahkan atau kombinasi fungsi eksponensial dengan suatu fungsi linier.

Tabel-9 Resume pencocokan model matematik eksponensial

NO	NAMA FUNGSI	MODEL MATEMATIK	NILAI R ²
1	Eksponen-3 + garis lurus	$Y = A * EXP(B/T + C*T) + D*T$	0,9996314
2	Eksponen-3 + konstanta	$Y = A * EXP(B/T + C*T) + C$	0,9997724
3	Eksponen dengan pangkat	$Y = A * EXP(B(T^C))$	0,9997824
4	Eksponen-2 + garis lurus	$Y = A * EXP(B*T + (C*(T^0.5))) + D*T$	0,9998887
5	Eksponen-2 + konstanta	$Y = A * EXP(B*T + (C*(T^0.5))) + D$	0,9999267
6	Weibull	$Y = A * EXP(B(T^C)) + D$	0,9999654
7	Gaussian	$Y = A * EXP(((T - B)^2)C)$	0,9999825
8	Gaussian + konstanta	$Y = A * EXP(((T - B)^2)C) + D$	0,9999959
9	Gompertz	$Y = A * EXP(B*EXP(C*T))$	0,9999983
10	Gompertz + konstanta	$Y = A * EXP(B*EXP(C*T)) + D$	0,9999999

Tabel-9 memperlihatkan resume hasil yang diperoleh untuk beberapa model matematik dengan fungsi eksponensial. Tampak pada Tabel-9 ada 10 buah model matematik yang mempunyai nilai R² mendekati 1. Nilai tersebut diurutkan dari yang terkecil sampai yang terbesar. Nilai-nilai koefisien A, B, C dan D dari masing-masing

TEGANGAN VERSUS TEMPERATUR DATA 2-3

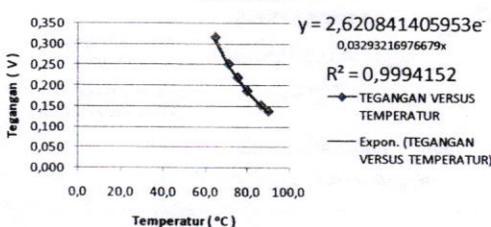


Gambar-8 Kurva tegangan versus temperatur dengan sepertiga jangkauan temperatur yang kedua.

Tabel-7 Hasil perhitungan fungsi invers (menggunakan Lab Fit) dan selisihnya untuk sepertiga jangkauan temperatur yang kedua.

NO	T (°C)	TEGANGAN (V)	T HITUNG (°C)	ERROR (°C)
11	40,4	0,768	40,3	0,06
12	45,3	0,632	45,4	-0,09
13	50,5	0,519	50,5	0,00
14	54,6	0,445	54,5	0,11
15	60,6	0,359	60,1	0,54

TEGANGAN VERSUS TEMPERATUR DATA 3-3



Gambar-9 Kurva tegangan versus temperatur dengan sepertiga jangkauan temperatur yang ketiga.

persamaan tidak semua ditampilkan pada jurnal ini. Pada pembahasan selanjutnya nanti akan ditampilkan sebagian dari nilai-nilai koefisien dari fungsi eksponen yang dipilih. Berdasarkan pada urutan tersebut maka model matematik Gompertz ditambah dengan suatu konstanta merupakan model yang paling cocok dengan sebaran data yang ada.

Dari hasil model matematik yang sudah diperoleh ini ini kemudian akan dicari nilai invers-nya. Fungsi invers tersebut kemudian akan dimasukkan ke dalam program di sistem akuisisi data berbasis Arduino. Untuk menguji tingkat ketelitian dari alat yang dibuat, maka dilakukan pengujian dengan cara membandingkan keluaran temperatur yang dihasilkan oleh fungsi invers dari persamaan-1 sebagai referensi dengan keluaran temperatur yang dihasilkan oleh fungsi invers dari persamaan yang dipilih. Dalam pengujian ini dipilih persamaan Gompertz plus konstanta dan persamaan Gaussian plus konstanta.

Fungsi invers dari persamaan Gompertz plus konstanta diperlihatkan pada persamaan-3, sedangkan persamaan-4 memperlihatkan fungsi invers dari persamaan Gaussian plus konstanta .

$$T_1 = \frac{\ln \left[\frac{\ln \left[\frac{Y-D}{A} \right]}{B} \right]}{C} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan nilai :

- A = 0.003017936665047;
- B = 7.404835076414;
- C = -0.007122320360118;
- D = -0.01242938160926;

$$T_2 = B \pm \sqrt{C \ln \left[\frac{Y-D}{A} \right]} \dots\dots(4)$$

Dengan nilai :

- A = 0.1022746887068;
- B = 150.0956216811;
- C = 5795.145813804;
- D = -0.05154086139398;

Pengujian dilakukan dengan mengganti thermistor dengan resistor yang sudah diketahui nilainya. Dengan mengubah-ubah nilai resistor yang setara dengan perubahan temperatur pada jangkauan pengukuran yang diinginkan, maka pengujian dapat dilakukan secara teliti. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel-10. Tabel-10 ini

merupakan resume dari hasil *data logger* yang diperoleh pada saat melakukan pengukuran.

Tampak bahwa ketelitian pembacaan temperatur dengan menggunakan fungsi invers dari persamaan Gompertz plus konstanta memberikan kesalahan terbesar sebesar 0,04 °C. Kesalahan terbesar untuk fungsi Gaussian plus konstanta memberikan kesalahan maksimum sebesar 0,54 °C. Dengan demikian jika diinginkan ketelitian pengukuran yang dapat memberikan kesalahan pengukuran sebesar ± 0,1 °C, maka pilihan fungsi invers dari persamaan Gompertz plus konstanta mampu memenuhi kebutuhan ini.

Tabel-10 Data hasil pengukuran temperatur untuk fungsi Gompertz plus konstanta dan fungsi Gaussian plus konstanta

No	Nilai Integer	V out (V)	T ref (°C)	T 1 (°C)	T 2 (°C)	Δ1 (°C)	Δ2 (°C)
1	31	0,139	89,47	89,43	90,01	0,04	-0,54
2	35	0,158	85,19	85,18	85,52	0,01	-0,33
3	43	0,197	73,23	73,76	73,33	-0,03	-0,10
4	50	0,231	73,35	73,30	73,34	-0,03	0,01
5	57	0,265	69,24	69,28	69,18	-0,04	0,06
6	73	0,342	61,81	61,83	61,69	-0,02	0,12
7	79	0,371	59,51	59,53	59,39	0,02	0,12
8	91	0,430	55,49	55,51	55,37	-0,02	0,12
9	122	0,580	47,51	47,51	47,4	0,00	0,11
10	137	0,652	44,47	44,47	44,37	0,00	0,10
11	176	0,841	33,1	33,11	33,05	0,00	0,06
12	218	1,044	32,9	32,89	32,86	0,01	0,04
13	232	1,112	31,42	31,41	31,39	0,01	0,03
14	264	1,267	23,30	23,30	23,38	0,01	0,01
15	325	1,562	23,65	23,65	23,66	0,00	-0,01
16	409	1,969	13,58	13,58	13,61	0,00	-0,03

Keterangan :
 T1 = temperatur yang dihasilkan oleh invers persamaan Gompertz + konstanta
 T2 = temperatur yang dihasilkan oleh invers persamaan gaussian + konstanta
 Δ1 = error pengukuran dari T1
 Δ2 = error pengukuran dari T2

Jika diinginkan ketelitian pengukuran yang dapat memberikan kesalahan pengukuran sebesar ± 1 °C, maka pilihan fungsi invers dari persamaan Gompertz plus konstanta, fungsi invers persamaan fungsi Gompertz saja dan fungsi invers persamaan Gaussian plus konstanta mampu memenuhi kebutuhan ini.

5. KESIMPULAN

Linierisasi sensor thermistor NTC menggunakan perangkat lunak dengan metoda logaritmik berhasil dilakukan. Metoda logaritmik dengan menggunakan fungsi invers dari persamaan Gompertz plus konstanta mampu memberikan ketelitian terbaik sampai dengan toleransi pengukuran temperatur sebesar ± 0,04 °C.

Daftar Simbol :

T: Temperatur, °C atau °K.

V: Tegangan, *V* (Volt).

R: Tahanan, Ω (Ohm).

β : Konstanta material thermistor, °K.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Mursanto, W.B.& Rony, F., “Rancang Bangun Transduser Temperatur Menggunakan Sensor Termistor”, Jurnal Teknik Energi, Vol. 2 No. 1. Politeknik Negeri Bandung, 2012.

[2] Mursanto, W.B., “Analisis Pengkondisi Sinyal Untuk Sensor Thermistor : Studi Kasus Linierisasi Secara Seri”, Jurnal Teknik Energi, Vol 4 No. 2. Politeknik Negeri Bandung, 2014.

[3] Warsito, “Analisis Rangkaian Pengkondisi Sinyal Tahap Awal Pada Sensor Pasif: Studi Kasus Untuk Thermistor Tipe NTC”, Jurnal Sains Tek. Vol. 11 No.3. FMIPA Universitas Lampung, 2015.

[4] Aloke, R.S, “Linearization of NTC Thermistor Characteristic Using OP-AMP Based In-verting Amplifier”,

Thesis master of Electrical Engineering, Jadavpur University, 2012.

[5] Khan, A.A. & Sengupta, R., “A linier temperatur/Voltage Con-verter Using Thermistor in Logarithmic Network”, IEEE Trans. Instrum. Meas. Vol. IM -33 No.1, 1984, pp-2-4.

[6] Puspita,E., “Teknik Perbaikan Karakteristik suatu Sensor yang Non Linier pada Rangkaian Elektronik Menggunakan Metoda Persamaan Polinomial Adaptif”, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2002.

[7] Bengtsson, L.E., “Look-up Table Optimization for Sensor Linearization in Small Em-bedded Systems”, Journal of Sensor Technology, 2012, page. 177-184.

[8] Tompkins, W.J. & Webster J.G., “Interfacing sensor to the IBM PC”, New Jersey : Prentice Hall International, (1988).

[9] Steinhart, J. S. & Hart S. R., “Calibration for Curve Thermistors”, Deep-Sea Research and Oceanographic Abstract, Vol. 15 , Issue. 4, 1968, page 497 -503.

[10] Sembiring, R.K., “Analisis Regresi”, Bandung : Penerbit ITB, 1995.