

FINAL MINI PROJECT – TURBIDITY SENSOR



Adro Anra Purnama (13220005)

Bostang Palaguna (13220055)

EL3013- Sistem Instrumentasi

Laboratorium Dasar Teknik Elektro - Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB

Abstrak

Pada proyek akhir mini kali ini diimplementasikan sensor turbiditas yaitu sensor yang dapat mengukur tingkat kekeruhan air. Sensor ini terdiri dari dua buah bagian yaitu probe untuk pengukuran yang akan dicelupkan ke sampel cairan yang ingin diukur tingkat kekeruhannya kemudian bagian pemroses analog berupa op-amp dan low-pass filter yang akan memperkuat nilai pembacaan serta mengurangi noise. Satuan tingkat kekeruhan yang digunakan adalah NTU dengan nilai 0 jernih sempurna sampai dengan 3000 (paling tidak jernih). Persamaan konversi variabel tegangan ke nilai NTU diperoleh dengan pendekatan pemodelan matematis.

Kata kunci: Sensor Turbiditas, Kekeruhan, NTU, low pass filter, op-amp, Karakteristik Statik Pengukuran.

1. PENDAHULUAN

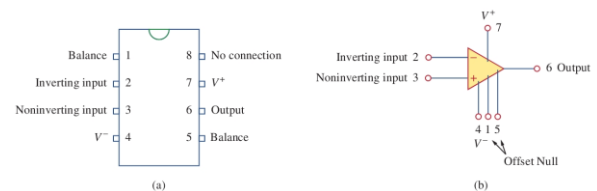
Proyek ini berangkat dari latar belakang permasalahan banyaknya fasilitas berupa dispenser air mineral gratis di sekitaran kampus ITB dan juga kantin Salman namun kami belum tahu pasti apakah air tersebut layak dikonsumsi atau tidak. Menurut WHO, beberapa kriteria air minum layak dikonsumsi adalah tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mengandung zat berbahaya. Kriteria yang akan diukur pada proyek kali ini adalah tidak berwarna tersebut / kekeruhan. Turbiditas adalah kekeruhan atau kekaburan cairan yang disebabkan oleh sejumlah besar partikel individu yang umumnya tidak terlihat oleh mata telanjang, mirip dengan asap di udara. Pengukuran kekeruhan adalah ujian utama kualitas air.

Berdasarkan permasalahan yang kami temukan tersebut, maka kami mendesain dan mengimplementasikan sensor pengukur turbiditas yang mampu mengukur tingkat kekeruhan air dengan menggunakan modul sensor turbiditas yang sudah terdapat di pasaran sedangkan bagian rangkaian analognya : op-amp dan low-pass filter adalah bagian yang kami rancang sendiri dan pasang secara eksternal di luar modul sensor tersebut.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 OPERATIONAL AMPLIFIER

Op-amp adalah elemen aktif rangkaian yang didesain untuk melakukan operasi matematis seperti penjumlahan, pengurangan, pengalihan, pembagian, diferensiasi, dan integrasi.^[1]



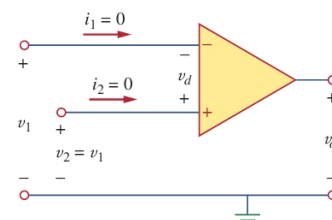
Gambar 2-1 Konfigurasi IC Op-Amp (kiri) dan Simbol Rangkaian Op-amp (kanan) (sumber gambar: *Fundamentals of Electric Circuits, Sadiku, Hlm. 177*)

Op-amp ideal memiliki beberapa karakteristik seperti:

- (1) Penguatan open-loop A_v yang tak berhingga.
- (2) Resistansi input R_{in} yang tak berhingga.
- (3) Resistansi output R_{out} yang bernilai nol.

Dampaknya adalah op-amp bisa dianalisis dengan asumsi:

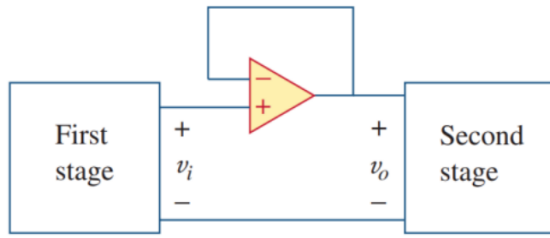
1. arus yang masuk ke terminal op-amp adalah nol.
2. tegangan pada kedua terminal op-amp sama besar.



Gambar 2-2 Model Op-amp ideal (sumber gambar: *Fundamentals of Electric Circuits, Sadiku, Hlm. 180*)

2.2 RANGKAIAN OP-AMP VOLTAGE FOLLOWER

Rangkaian op-amp follower adalah rangkaian yang outputnya mengikuti nilai input.



Gambar 2-3 Gambar rangkain voltage follower (sumber gambar: *Fundamentals of Electric Circuits, Sadiku, Hlm. 184*)

$$v_o = v_i$$

Rangkaian ini memiliki resistansi input yang besar sehingga dapat digunakan untuk mengisolasi suatu bagian rangkaian dari rangkaian yang lebih besar sehingga biasa digunakan untuk meminimalkan interaksi dua buah rangkaian dan menghapus efek interstage loading.

2.3 LOW-PASS FILTER

Low-pass filter adalah filter yang melewatkan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah daripada frekuensi cut-off f_L dan meredam sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi daripada f_L .

Fungsi transfer dari low-pass filter dapat dinyatakan dengan:

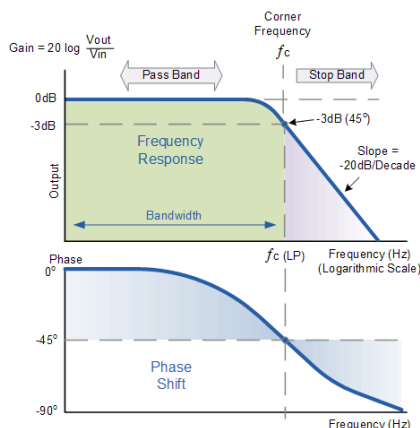
$$A(s) = A_m \frac{\omega_p}{s + \omega_p}$$

Setelah penambahan feedback, fungsi transfernya berubah menjadi:

$$A_f(s) = A_{mf} \frac{\omega_{pf}}{s + \omega_{pf}}$$

Dengan $A_{mf} = A_m / (1 + A_m \beta)$, $\omega_{pf} = \omega_p (1 + A_m \beta)$

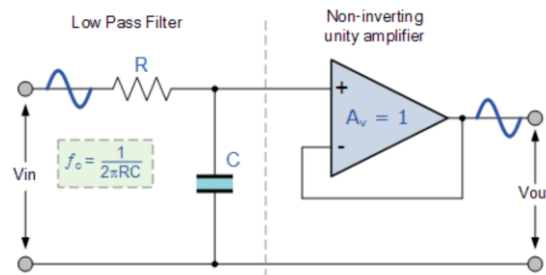
Berikut adalah grafik respons frekuensi dari low-pass filter:



Gambar 2-4 Grafik Respons Frekuensi Low-pass Filter (sumber gambar: [What Electronics Engineer Needs to Know About Passive Low Pass Filters \(passive-components.eu\)](http://www.passive-components.eu/))

Dalam implementasi rangkaian listriknya, low-pass filter bisa dibuat menggunakan rangkaian RC passive yang disambungkan (cascade) dengan rangkaian voltage follower op-amp. Bagian rangkaian RC akan melewatkan sinyal berfrekuensi rendah dan menahan noise yang berfrekuensi tinggi. Sedangkan bagian op-amp voltage follower dibutuhkan untuk meningkatkan stabilitas dari filter. Frekuensi cut-off dari filter ini dapat dinyatakan dengan:

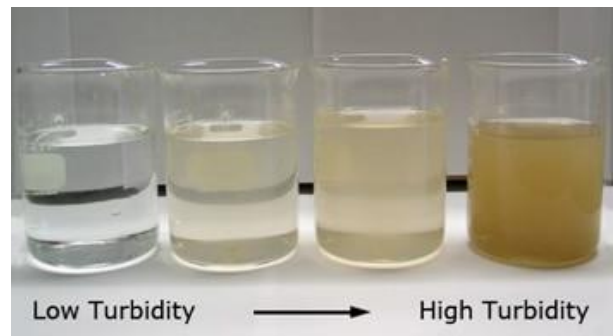
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$



Gambar 2-5 Low-pass filter yang terdiri dari RC passive dan voltage follower (sumber gambar: [Active Low Pass Filter - Op-amp Low Pass Filter \(electronics-tutorials.ws\)](http://electronics-tutorials.ws/))

2.4 TURBIDITAS

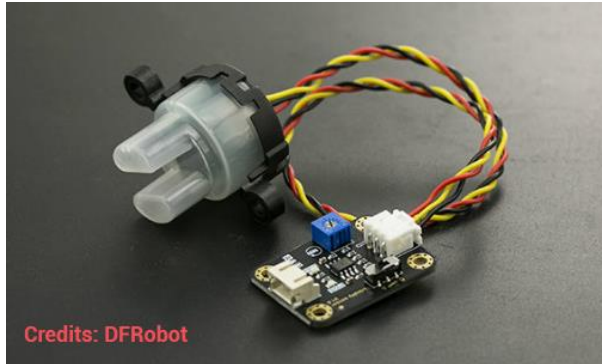
Turbiditas adalah kekeruhan atau kekaburan cairan yang disebabkan oleh sejumlah besar partikel individu yang umumnya tidak terlihat oleh mata telanjang, mirip dengan asap di udara. Pengukuran kekeruhan adalah tes kunci kualitas air^[2].



Gambar 2-6 Ilustrasi ukuran turbiditas/ tingkat kekeruhan air (sumber gambar: [DIY Turbidity Meter using Analog Turbidity Sensor & Arduino \(how2electronics.com\)](http://how2electronics.com/))

Ada dua satuan standar untuk melaporkan kekeruhan: dari ISO 7027 dan Nephelometric Turbidity Units (NTU) dari USEPA Method 180.1. NTU banyak digunakan di Amerika Serikat. ISO 7027 menyediakan metode kualitas air untuk penentuan kekeruhan. Ini digunakan untuk menentukan konsentrasi partikel tersuspensi

dalam sampel air dengan mengukur insiden cahaya yang tersebar di sudut kanan dari sampel. Cahaya yang tersebar ditangkap oleh fotodioda, yang menghasilkan sinyal elektronik yang diubah menjadi kekeruhan. Berikut adalah gambar dari modul sensor yang terdapat di pasaran (board controller + submersible sensor (sensor probe)) :



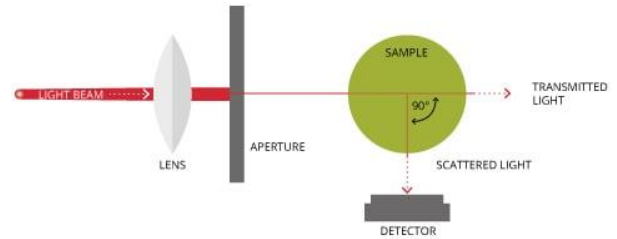
Gambar 2-7 Modul Sensor Turbiditas DFRobot (Board controller dan probe sensor) (sumber gambar: [ESP32 Turbidity Sensor | Microcontroller Tutorials \(teachmemicro.com\)](https://teachmemicro.com/ESP32-Turbidity-Sensor-Microcontroller-Tutorials/))

Untuk bagian probe sensor (bagian yang dicelupkan) termasuk kotak plastik semi-transparan dan penutup atas. Melepas penutup atas memperlihatkan papan sirkuit kecil yang berisi pemancar dan penerima inframerah yang saling berhadapan. Potensiometer pemangkas juga ada di papan tampaknya untuk menyesuaikan sensitivitas penerima IR.



Gambar 2-8 Bagian dalam probe sensor Turbiditas DFRobot (sumber gambar: [ESP32 Turbidity Sensor | Microcontroller Tutorials \(teachmemicro.com\)](https://teachmemicro.com/ESP32-Turbidity-Sensor-Microcontroller-Tutorials/))

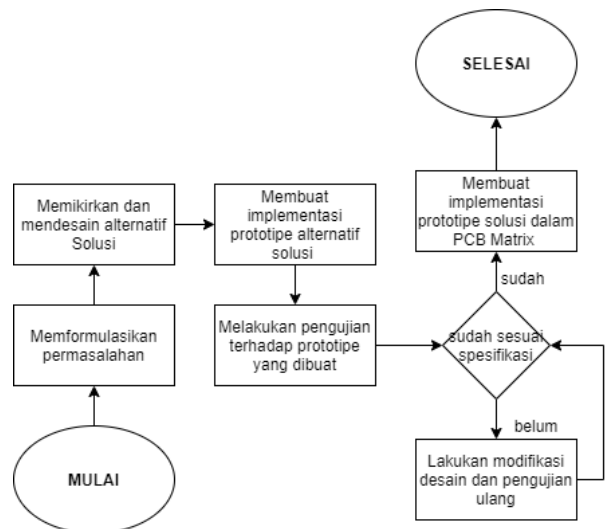
Sensor bekerja berdasarkan prinsip efek Tyndall, yaitu hamburan cahaya dalam air karena partikel asing seperti kotoran, dll. Saat air jernih, LED IR penerima menerima jumlah maksimum radiasi dari LED IR pemancar. Saat air semakin keruh, radiasi pada LED IR penerima semakin berkurang. Jadi, pada air jernih, papan sensor menghasilkan arus yang lebih tinggi dan sebaliknya.



Gambar 2-9 Ilustrasi prinsip kerja efek Tyndall untuk sensor turbiditas (sumber gambar: [DIY Turbidity Meter using Analog Turbidity Sensor & Arduino \(how2electronics.com\)](https://how2electronics.com/DIY-Turbidity-Meter-using-Analog-Turbidity-Sensor-Arduino/))

3. METODOLOGI

Berikut adalah tahapan yang kami lakukan dalam pengerjaan final mini project ini:



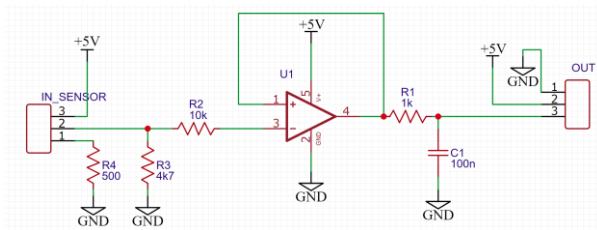
Gambar 3-1 Diagram Alur Kerja Pengerjaan Final Mini Project EL3013

Sebagai catatan, dari proses di atas kami berhenti pada tahap iterasi perbaikan desain solusi dan pengujian prototipe. Kami telah membuat prototipe solusi dalam PCB Matrix namun tidak berhasil dalam tahap pengujian (kemungkinan dikarenakan penyolderan yang salah/kurang rapih/ada komponen tersolder yang rusak). Kami tidak sempat membuat implementasi di PCB karena keterbatasan waktu (waktu pencetakan PCB oleh jasa yang kami ketahui paling cepat adalah 1 minggu).

4. HASIL DAN ANALISIS

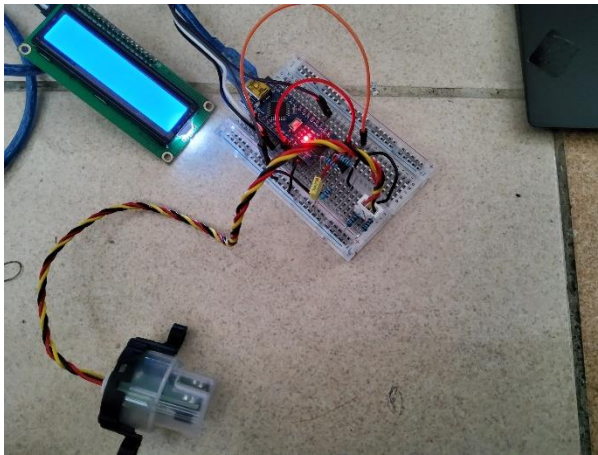
Modul sensor yang kami beli telah include dengan rangkaian pengontrol. Pada final mini project ini kami mendesain sendiri rangkaian pengontrol tersebut dan kami membandingkan performanya dengan modul yang ada di pasaran.

Berikut adalah skematik rangkaian pengontrol yang kami buat:



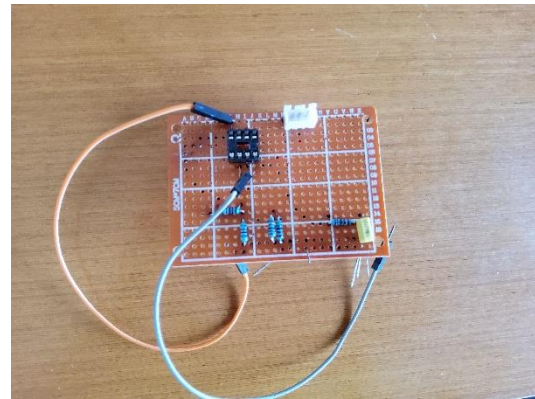
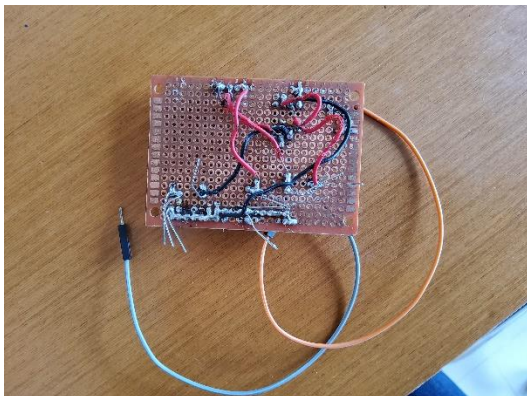
Gambar 4-2 Skematik rangkaian pengontrol sensor turbiditas (low-pass filter dan voltage follower) yang kami rancang untuk final mini project EL3013

Berikut adalah prototipe dari skematik rangkaian di atas yang kami buat pada breadboard:



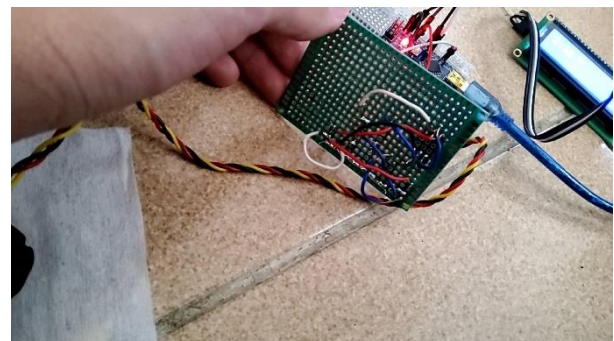
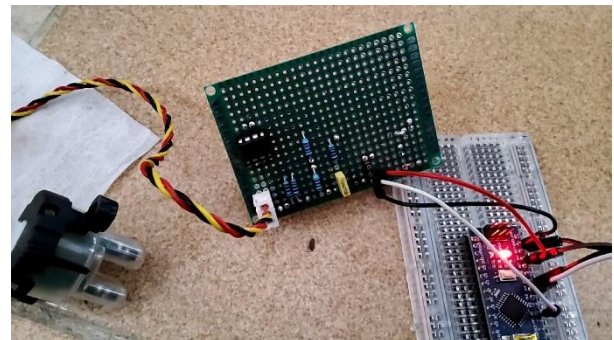
Gambar 4-2 prototipe rangkaian pengontrol sensor turbiditas (low-pass filter dan voltage follower) yang kami rancang untuk final mini project EL3013 pada breadboard

Berikut adalah implementasi awal yang kami buat dalam PCB Matrix (tidak berhasil):



Gambar 4-3 prototipe rangkaian pengontrol sensor turbiditas (low-pass filter dan voltage follower) yang kami rancang untuk final mini project EL3013 pada PCB Matrix (atas dan bawah) (gagal)

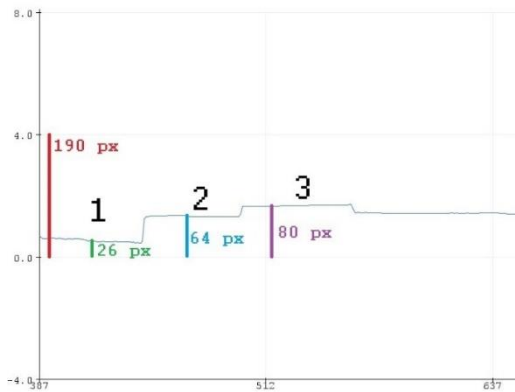
Berikut adalah implementasi pada PCB Matrix yang kami buat untuk kedua kalinya (yang berhasil):



Gambar 4-4 prototipe rangkaian pengontrol sensor turbiditas (low-pass filter dan voltage follower) yang kami rancang untuk final mini project EL3013 pada PCB Matrix (atas dan bawah) (berhasil)

Seperti dijelaskan pada catatan di bagian metodologi, kami tidak berhasil melakukan pengujian unit di PCB ataupun PCB matrix sehingga hasil yang dianalisis di bawah ini merupakan hasil pengukuran menggunakan rangkaian pengontrol pada breadboard.

Dengan melakukan pengukuran terhadap 3 buah medium (air mineral, air kopi (keruh), dan udara (sebagai kontrol)), kita peroleh hasil pengukuran yang ditampilkan pada serial plotter Arduino berikut:



Gambar 4-5 Hasil pengukuran sensor turbiditas yang dipasangkan dengan rangkaian pengontrol (hasil pengukuran prototipe pada breadboard)

Pada gambar 4-5 sumbu tegak menyatakan tegangan namun sayangnya tidak terdapat label yang cukup baik untuk pembacaan nilai eksaknya. Oleh karena itu kita bisa membaca nilai tegangannya dengan menganalisis jumlah pixel gambar. Garis lurus mendatar dengan label 1 adalah pembacaan nilai tegangan keluaran sensor untuk medium kopi (air keruh), label 2 adalah pembacaan nilai tegangan pada medium udara, sedangkan label 3 adalah pembacaan nilai tegangan pada medium air mineral (jernih).

Dengan menganalisis jumlah pixel, pembacaan nilai tegangan pada label 1 adalah:

$$v_1 = \frac{26 \text{ px}}{190 \text{ px}} \times 4V = 0.55 \text{ V}$$

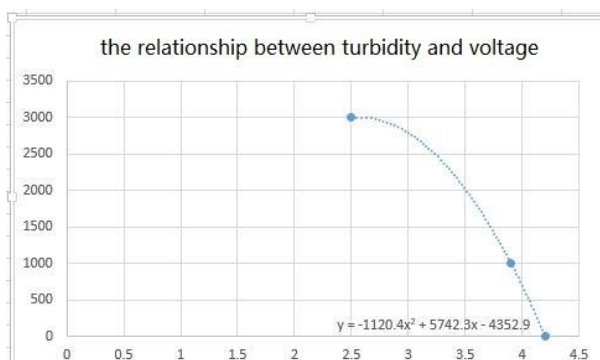
Sedangkan untuk label 2:

$$v_2 = \frac{64 \text{ px}}{190 \text{ px}} \times 4V = 1.35 \text{ V}$$

Untuk label 3 :

$$v_3 = \frac{80 \text{ px}}{190 \text{ px}} \times 4V = 1.68V$$

Sekarang kita harus menemukan persamaan konversi variabel tegangan ke nilai turbiditas. Berdasarkan dokumentasi resmi sensor turbiditas yang kami gunakan (DFRobot SEN0189)^[3], grafik hubungan antara tegangan pembacaan dengan nilai turbiditas adalah sebagai berikut:



Gambar 4-6 Grafik hubungan konversi variabel tegangan ke nilai turbiditas untuk sensor turbiditas DFRobot SEN0189

Terlihat bahwa hubungan antara tegangan pembacaan v dan nilai turbiditas t adalah kuadratik negatif

$$t = a_2 v^2 + a_1 v + a_0$$

Namun untuk rangkaian pengontrol yang kita buat kita tidak bisa menggunakan nilai a_0, a_1, a_2 tersebut karena nilai-nilai komponen yang kita pilih tidak akan memberikan penguatan yang sama.

Sekarang kita akan temukan nilai a_0, a_1 , dan a_2 dari tiga buah titik pengukuran yang kita lakukan:

Berdasarkan US Environmental Protection Agency (EPA)^[4], air mineral layak minum memiliki nilai turbiditas $< 0.15 \text{ NTU}$. Maka titik pengukuran pertama kita adalah: $(t, v) = (0, 1.68)$.

Dari gambar 4-5, Nilai turbiditas paling besar (air paling keruh) adalah 3000 sehingga titik pengukuran kedua kita adalah: $(t, v) = (3000, 0.55)$. Dari gambar 4-5 terlihat juga bahwa gradien kurva pada nilai $t = 3000 \text{ NTU}$ adalah nol (garis mendatar) sehingga kita bisa selesaikan persamaan:

$$t(v) = a_2 v^2 + a_1 v + a_0$$

$$t(0.55) = 3000$$

$$t(1.68) = 0$$

$$t'(0.55) = 0$$

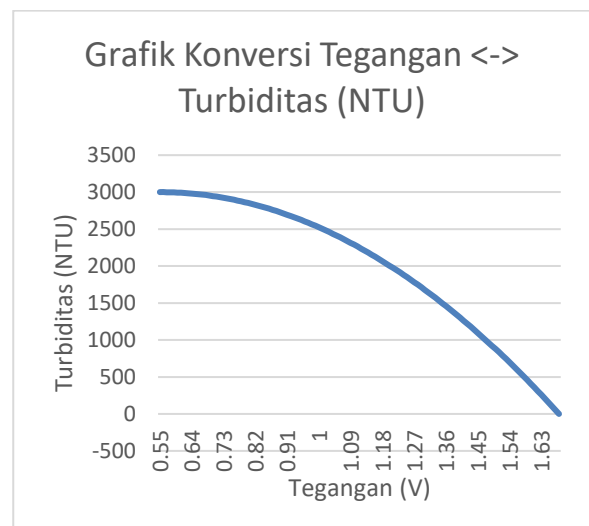
Dan perhitungan pada lampiran 2, kita peroleh:

$$a_2 = -2349.44$$

$$a_1 = 2584.38$$

$$a_0 = 2289.3$$

Dengan menggunakan excel (tabel pada lampiran 3), kita peroleh hasil sebagai berikut:



Gambar 4-7 Grafik hubungan konversi variabel tegangan ke nilai turbiditas untuk sensor turbiditas dengan rangkaian pengontrol yang kita buat

Berikut adalah analisis untuk karakteristik statik pengukuran:

- Akurasi pengukuran:

$$\Delta v = \pm 0.001$$

$$\text{Saat } v \rightarrow 1.68, \quad \frac{\Delta t}{\Delta v} \approx \left. \frac{dt}{dv} \right|_{t=1.68} \approx 2 \times 1.68 \times -2349.44 + 2584.38 \approx -5309 \text{ NTU/V}$$

Sehingga:

$$\Delta t_{\max} \approx 5.3 \text{ NTU}$$

- Range/span

Dari gambar 4-6 terlihat bahwa:

$$v_{\max} \approx 1.68 \text{ V}$$

$$v_{\min} \approx 0.55 \text{ V}$$

$$t_{\max} = 3000 \text{ NTU}$$

$$t_{\min} = 0 \text{ NTU}$$

- Sensitivitas

→ Tidak bernilai konstan karena hubungan antara turbiditas t dengan tegangan v tidak konstan.

$$\frac{dt}{dv} = 2a_2v + a_1 = -2349.44v + 2584.38$$

5. KESIMPULAN

Pada final mini project ini kita telah merancang sensor turbiditas untuk mengukur tingkat kekeruhan air. Berikut adalah kesimpulan yang dapat kita ambil:

- sensor turbiditas dapat digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air dan bekerja berdasarkan prinsip Tyndall dan menggunakan dua buah sensor inframerah (sebagai transmitter dan receiver) untuk implementasinya.
- sensor turbiditas terdiri dari probe sensor (bagian sensor yang dicelupkan ke cairan) serta rangkaian kontrol yang terdiri dari voltage-follower (buffer) serta low-pass filter untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih baik.

- nilai turbiditas dinyatakan dalam satuan NTU dan memiliki rentang nilai 0 sampai 3000. Nilai tegangan pembacaan minimum berkorespondensi dengan nilai turbiditas 3000 NTU dan diperoleh saat cairan semakin keruh sedangkan nilai tegangan pembacaan maksimum berkorespondensi dengan nilai turbiditas 0 NTU dan diperoleh pada cairan bening. Hubungan konversi variabel tegangan menjadi turbiditas mengikut persamaan kuadrat (dengan koefisien v^2 bernilai negatif (kurva parabola terbuka ke bawah).

6. REKOMENDASI

Bagi mereka yang ingin mengembangkan sensor turbiditas (pengukur kekeruhan air), berikut adalah rekomendasi yang dapat kami berikan: Gunakan rangkaian penguat op-amp dengan penguatan yang cukup sehingga pembacaan nilai maksimum dan minimum tegangan berbeda jauh. Hal ini akan berkaitan dengan akurasi ketika dilakukan konversi variabel tegangan ke nilai turbiditas (NTU). Pada hasil rangkaian yang kami buat, pembacaan nilai tegangan maksimum adalah 1.68 V dan minimum sebesar 0.55 V (selisih 1.13 V). Harus diakui bahwa pemakaian low-pass filter pada desain yang sekarang telah kami buat tidak terlalu berpengaruh karena tingkat akurasi pengukuran kita saja sudah lebih besar dari noise yang mungkin ada. Alangkah baiknya bila pihak yang ingin melanjutkan perancangan sensor ini memiliki range pengukuran tegangan 0 V sampai V_{CC} tetapi hal ini bergantung pada probe sensor yang kita beli juga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. O.. *Fundamentals of Electric Circuits* 5th edition. McGraw Hill Education India. Hlm. 176
- [2] [DIY Turbidity Meter using Analog Turbidity Sensor & Arduino \(how2electronics.com\)](https://www.how2electronics.com/projects/diy-turbidity-meter-using-analog-turbidity-sensor-arduino/)
- [3] [Turbidity sensor SKU SEN0189-DFRobot](https://www.dfrobot.com/ProductsDetail.aspx?productId=189)
- [4] [Turbidity Provisions | US EPA](https://www.epa.gov/monitoring-systems/turbidity-provisions)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Sourcecode sensor turbiditas

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); //0x27 is the i2c address, while 16 = columns, and 2
= rows.

int Turbidity_Sensor_Pin = A1;
float Turbidity_Sensor_Voltage;
int samples = 600;
float ntu; // Nephelometric Turbidity Units

void setup()
{
    Serial.begin(9600); // untuk menampilkan ke serial monitor
    pinMode(Turbidity_Sensor_Pin, INPUT);
    lcd.init(); // inisiasi LCD
    lcd.backlight(); // backlight LCD
    lcd.home();
}

void loop()
{
    Turbidity_Sensor_Voltage = 0;

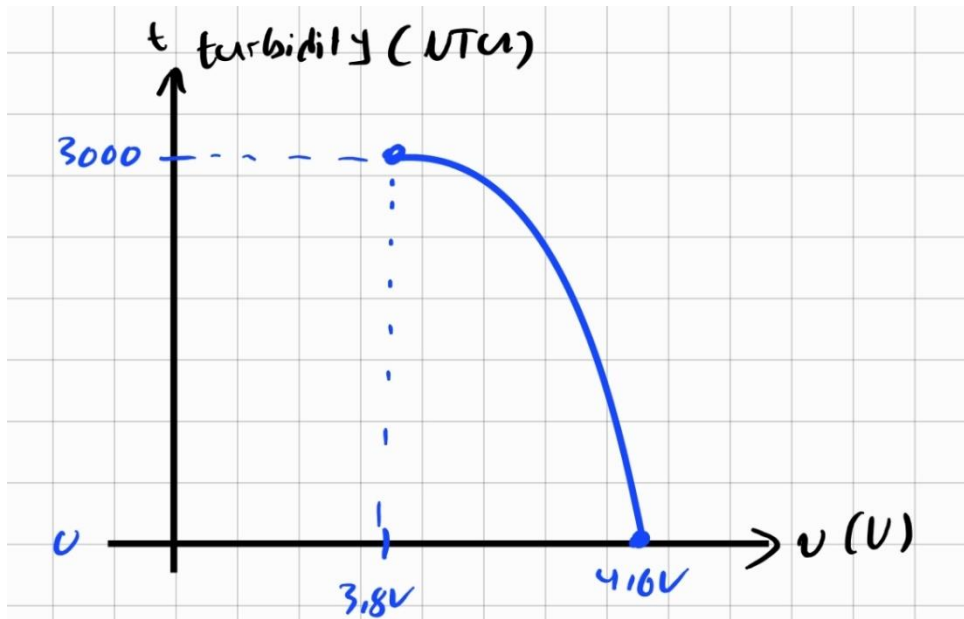
    for(int i=0; i<samples; i++)
    {
        Turbidity_Sensor_Voltage += ((float)analogRead(Turbidity_Sensor_Pin)/1023)*5;
    }

    Turbidity_Sensor_Voltage = Turbidity_Sensor_Voltage/samples;

    Turbidity_Sensor_Voltage = round_to_dp(Turbidity_Sensor_Voltage,2);
    if(Turbidity_Sensor_Voltage < 2.5)
    {
        ntu = 3000;
    }
    else
    {
        ntu = -1120.4*quare(Turbidity_Sensor_Voltage)+ 5742.3*Turbidity_Sensor_Voltage -
4352.9;
        //ntu = -(9375/2) *square(Turbidity_Sensor_Voltage) + 35625
        *Turbidity_Sensor_Voltage - (129375/2); // calibrated
    }
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(Turbidity_Sensor_Voltage);
    lcd.print(" V");

    lcd.setCursor(0,1);
    Serial.println(Turbidity_Sensor_Voltage);
    delay(10);
}

float round_to_dp( float in_value, int decimal_place )
{
    float multiplier = powf( 10.0f, decimal_place );
    in_value = roundf( in_value * multiplier ) / multiplier;
    return in_value;
}
```

$$t = a_2 v^2 + a_1 v + a_0$$

$$t(0.155) = 3000$$

$$t(1.168) = 0$$

$$\dot{t}(0.155) = 0$$

$$\dot{t} = 2a_2 v + a_1$$

$$\dot{t}(0.155) = 2a_2 \cdot 0.155 + a_1 = 0$$

$$1.1 a_2 + a_1 = 0 \quad \dots (1)$$

$$t(1.168) = 1.168^2 a_2 + 1.168 a_1 + a_0 = 0 \quad \dots (2)$$

$$t(0.155) = 0.155^2 a_2 + 0.155 a_1 + a_0 = 3000 \quad \dots (3)$$

Dari (1), (2), (3):

$$a_2 = -2349.44$$

$$a_1 = 2584.38$$

$$a_0 = 2289.30$$

Lampiran 3. Tabel Konversi excel konversi tegangan menjadi turbiditas (plotnya pada gambar 4-6)

v	t		v	t		v	t
0.55	3000.003		0.93	2660.743		1.31	1642.964
0.56	2999.768		0.94	2642.652		1.32	1607.017
0.57	2999.064		0.95	2624.091		1.33	1570.601
0.58	2997.889		0.96	2605.061		1.34	1533.715
0.59	2996.244		0.97	2585.561		1.35	1496.359
0.6	2994.13		0.98	2565.59		1.36	1458.533
0.61	2991.545		0.99	2545.15		1.37	1420.237
0.62	2988.491		1	2524.24		1.38	1381.471
0.63	2984.967		1.01	2502.86		1.39	1342.235
0.64	2980.973		1.02	2481.01		1.4	1302.53
0.65	2976.509		1.03	2458.691		1.41	1262.354
0.66	2971.575		1.04	2435.901		1.42	1221.709
0.67	2966.171		1.05	2412.641		1.43	1180.594
0.68	2960.297		1.06	2388.912		1.44	1139.008
0.69	2953.954		1.07	2364.713		1.45	1096.953
0.7	2947.14		1.08	2340.044		1.46	1054.428
0.71	2939.857		1.09	2314.905		1.47	1011.434
0.72	2932.104		1.1	2289.296		1.48	967.969
0.73	2923.881		1.11	2263.217		1.49	924.0345
0.74	2915.188		1.12	2236.668		1.5	879.63
0.75	2906.025		1.13	2209.649		1.51	834.7557
0.76	2896.392		1.14	2182.161		1.52	789.4114
0.77	2886.29		1.15	2154.203		1.53	743.5973
0.78	2875.717		1.16	2125.774		1.54	697.3133
0.79	2864.675		1.17	2096.876		1.55	650.5594
0.8	2853.162		1.18	2067.508		1.56	603.3356
0.81	2841.18		1.19	2037.67		1.57	555.6419
0.82	2828.728		1.2	2007.362		1.58	507.4784
0.83	2815.806		1.21	1976.585		1.59	458.8449
0.84	2802.414		1.22	1945.337		1.6	409.7416
0.85	2788.553		1.23	1913.62		1.61	360.1684
0.86	2774.221		1.24	1881.432		1.62	310.1253
0.87	2759.419		1.25	1848.775		1.63	259.6123
0.88	2744.148		1.26	1815.648		1.64	208.6294
0.89	2728.407		1.27	1782.051		1.65	157.1766
0.9	2712.196		1.28	1747.984		1.66	105.2539
0.91	2695.515		1.29	1713.447		1.67	52.86138
0.92	2678.364		1.3	1678.44		1.68	-0.00106