

ALAT PENGUKUR RESISTANSI, KONDUKTIVITAS, DAN TOTAL DISSOLVED SOLIDS AIR DENGAN TEKNIK DORONG-TARIK

Darmawan Utomo

Program Studi Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer – UKSW

Jalan Diponegoro 52-60 Salatiga – 50711

Email: darmawan@staff.uksw.edu

INTISARI

Pada makalah ini diusulkan sebuah teknik yang memanfaatkan port dari mikrokontroler sebagai pembangkit gelombang kotak bolak-balik dengan cara dorong-tarik (push-pull) untuk mengukur resistansi (elektrik), konduktivitas (elektrik), dan Total Dissolved Solids (TDS) air. Pengujian dilakukan dengan menggantikan Rsensor dengan R sebesar ½ k, 1k, 2k, 3k, 4k ohm. Ralat yang diperoleh dari kombinasi resistor sebesar 0,45%. Pengujian terhadap air yang diberi penambahan garam dapur didapatkan ralat 1,61% terhadap TDS-3 buatan HM-Digital.

Kata kunci: Resistan, Konduktivitas elektrik, *Total Dissolved Solids*, *Push-Pull*

1. PENDAHULUAN

Kadar garam yang tinggi akan berdampak buruk pada kehidupan manusia, tanaman pangan, dan kehidupan di air tawar [1], oleh karenanya perlu diatur. Batas pencemaran air limbah dibedakan dalam lemah (200 mg/L), menengah (500 mg/L), dan kuat (700 mg/L) [1]. Salah satu cara untuk mengukur kadar garam yang terlarut di dalam air adalah dengan mengukur resistansi elektrik dan *Total Dissolved Solids*-nya.

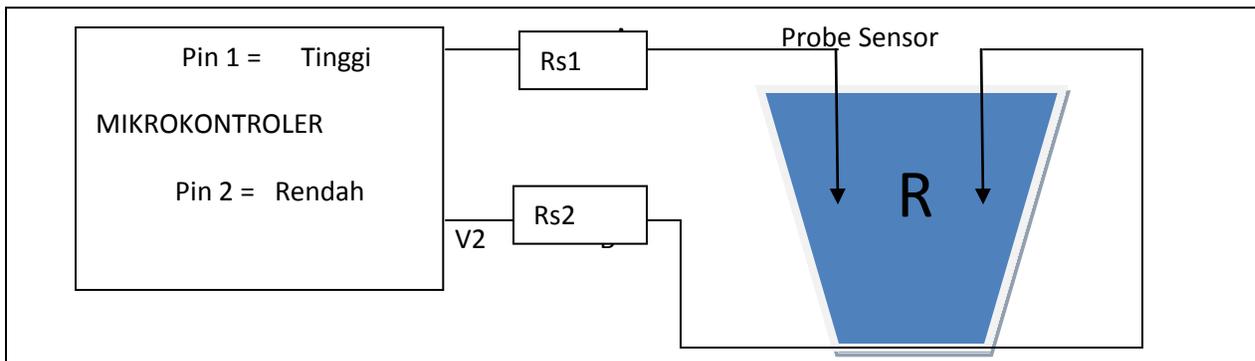
Ada kaitan yang jelas antara mengukur resistansi (elektrik), konduktivitas (elektrik), dan TDS air. Jika dilihat dari satuannya berturut-turut adalah ohm (Ω), mho (\mathfrak{S}), dan part per million (ppm). Satuan mho adalah seper-ohm atau siemen (S). Sedangkan satuan TDS dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\text{TDS (ppm)} = f_k \times S \times 1.000.000 \quad (1)$$

Di mana f_k adalah konstanta yang tergantung dari larutan. Untuk larutan NaCl nilainya adalah 0,5 [2].

Resistansi air yang mengandung garam tidak dapat diukur dengan menggunakan ohm-meter arus searah. Hal ini karena air dan NaCl tersusun dari molekul-molekul dwi kutub yang jika mendapat arus searah, maka pada molekul-molekul ini akan diarahkan dan ion Na^+ akan tertarik ke kutub negatif, sedangkan ion Cl^- ke kutub positif. Akibatnya hasil pengukuran ini tidak mencerminkan resistansi larutan karena hasilnya selalu berubah-ubah.

Teknik pengukuran yang umum dilakukan adalah dengan memberi tegangan dua arah (AC). Dengan teknik ini maka molekul-molekul air dan ion-ion Na^+ dan Cl^- , relatif tetap pada tempatnya jika frekuensi yang digunakan berorde beberapa kilo hertz. Frekuensi yang rendah, dapat menyebabkan molekul air dan ion-ion Na^+ dan Cl^- sempat mengadakan perubahan susunan sehingga resistansi yang diukur kurang sesuai dengan kenyataan.



Gambar 1. Diagram kotak model yang diusulkan.

Pada makalah ini diusulkan sebuah teknik yang memanfaatkan dua pin dari port mikrokontroler sebagai pembangkit gelombang kotak dengan cara dorong-tarik (*push-pull*). Modelnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Dorong atau tarik dipandang dari pin1. Dorong yaitu saat pin 1 bernilai tinggi (*High*) melewati suatu resisten larutan (R) yang terhubung secara seri dengan pin 2 yang bernilai rendah (*Low*). Definisi tarik adalah sebaliknya, arus keluar dari pin 2, melewati R dan masuk ke pin 1.

Besaran arus yang melewati R dapat diketahui dengan menambahkan dua buah resistor secara seri pada masing-masing ujung *probe* sensor (R_{s1} dan R_{s2}) atau dengan cara mengukur

arusnya secara langsung. V_A dan V_B diukur dengan ADC untuk mendapatkan V_{AB} . Dengan rumus pembagi tegangan yang diperlihatkan pada Persamaan (2), dapat diperoleh R (resistan air) pada Persamaan (6).

$$V_{AB} = R / (R + R_{s1} + R_{s2}) \times V_{12} \quad (2)$$

$$V_{AB} \times (R + R_{s1} + R_{s2}) = R \times V_{12} \quad (3)$$

$$V_{AB} \times (R_{s1} + R_{s2}) = R \times V_{12} - V_{AB} \times R \quad (4)$$

$$V_{AB} \times (R_{s1} + R_{s2}) = R \times (V_{12} - V_{AB}) \quad (5)$$

$$R = V_{AB} \times (R_{s1} + R_{s2}) / (V_{12} - V_{AB}) \quad (6)$$

Dari nilai R yang telah dihitung, dapat dicari nilai konduktivitasnya yaitu:

$$S = 1 / R \quad (7)$$

dan TDSnya sesuai Persamaan (1).

2. KAJIAN PUSTAKA

Ada banyak alat ukur TDS yang beredar salah satunya adalah TDS-3 (tipe saku) yang dibuat oleh HM-Digital. Alat ukur ini tidak dapat dikenali cara kerjanya. Bagian yang terlihat adalah sensor konduktivitas yang berupa garpu dua mata, dan sensor temperatur. Keluarannya berupa penampil LCD 3 digit. Beberapa spesifikasinya adalah jangkauan (0 – 999 ppm) untuk resolusi 1 dan (0 – 9999 ppm) 10 ppm, serta memiliki akurasi ($\pm 2\%$) [3].

Alat ukur yang lain yang dibuat amatir [4] diperlihatkan pada Gambar 2, menunjukkan secara jelas rangkaian yang direalisasikan. Rangkaian ini terdiri dari blok osilator pembangkit tegangan bolak-balik dengan menggunakan teknik wien-bridge. Keluarannya diumpungkan pada *gain-loop* yang bagian masukannya dihubungkan dengan sensor. Dengan teknik ini, jika konduktivitasnya tinggi maka keluaran dari *gain-loop* (A0) juga tinggi sebanding dengan perubahan konduktivitas masukannya.

Sinyal keluaran perlu dijaga supaya tidak terbebani dengan menambahkan *non inverting amplifier*. Keluaran bolak-balik dari *non inverting amplifier* perlu disearahkan jika akan dihubungkan dengan volt-meter DC atau dengan *analog-to-digital converter* (ADC) pada sebuah mikrokontroler. Untuk menjaga keamanan *port* mikrokontroler dari kerusakan karena tegangan di luar karakteristik *port*, maka perlu diberi tambahan diode-clamp pada bagian akhir.

Alat ini masih memerlukan tambahan detektor temperatur. Temperatur akan mempengaruhi nilai dari TDS sesuai dengan rumus [2]:

$$\text{TDS}(t) = \text{TDS} \{1 + \alpha (t-25^{\circ}\text{C})\} \quad (8)$$

Di mana:

$\text{TDS}(t)$ = TDS pada sembarang temperatur t ($^{\circ}\text{C}$)

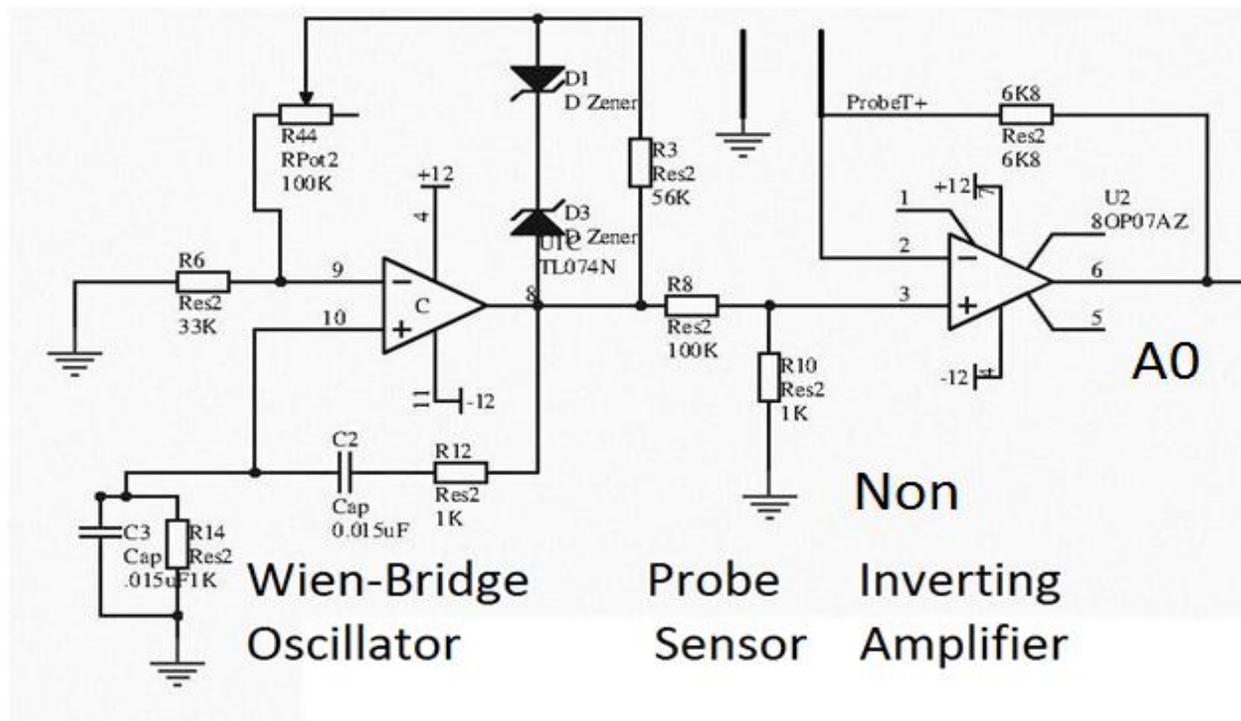
TDS = TDS pada temperatur 25°C

α = koefisien temperatur dari larutan air sebesar 0,0214

t = suhu larutan dalam $^{\circ}\text{C}$

**ALAT PENGUKUR RESISTANSI, KONDUKTIVITAS, DAN TOTAL DISSOLVED SOLIDS
AIR DENGAN TEKNIK DORONG-TARIK**

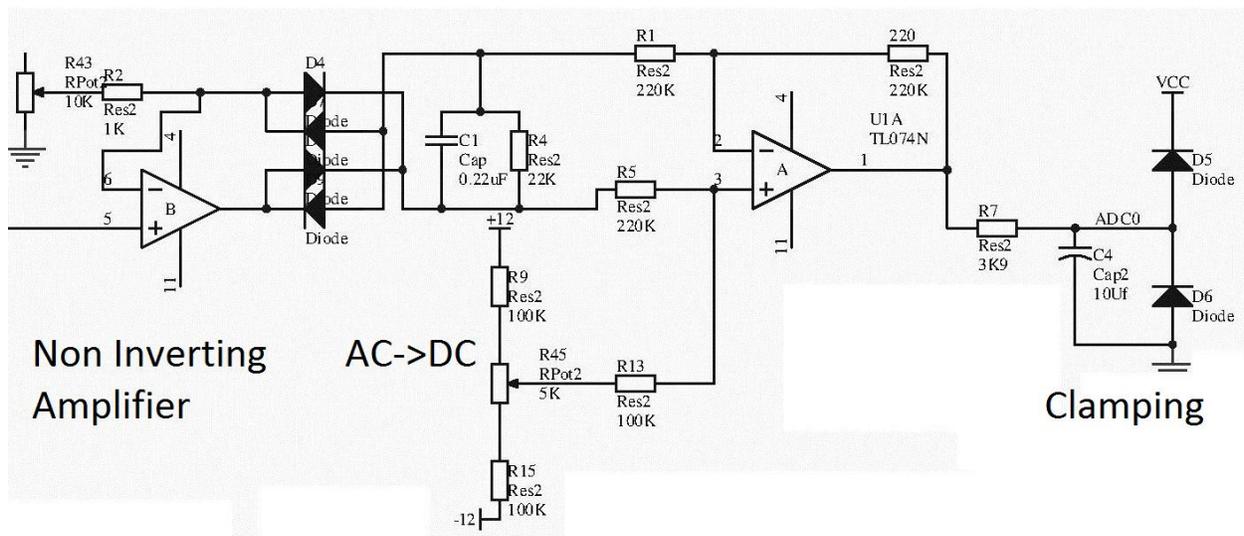
Darmawan Utomo



Osilator Jembatan Wien

| Sensor

| Gain-loop



Non Inverting
Amplifier

AC->DC

Clamping

High-impedance Non Inverting Amplifier -

AC-DC

- Clamping

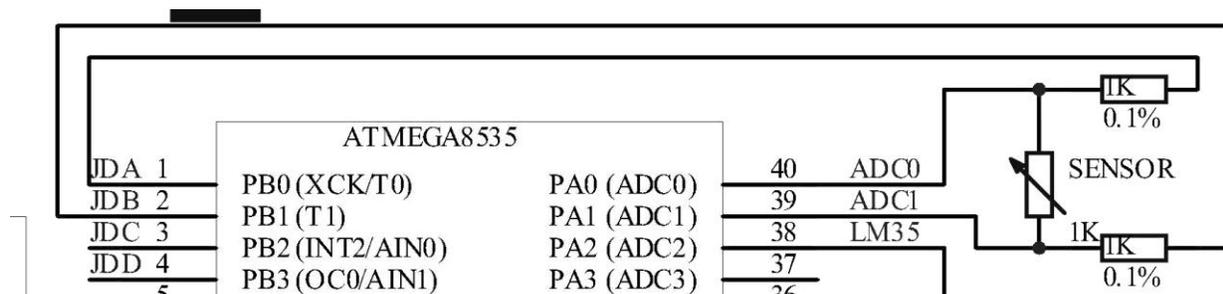
Gambar 2. Rangkaian TDS dengan osilator Wien-bridge [2].

Alat ukur ini cukup sulit untuk ditera karena ada tiga potensiometer yang harus diatur. Masing-masing untuk mengatur amplitudo osilator wien-bridge, kalibrasi penguatan, dan pengaturan *offset* tegangan. Kalibrasi penguatan akan membuat *offset* tegangan berubah, dan setelah pengaturan *offset* tegangan perlu dilakukan pengaturan penguatan lagi. Hal ini yang membuat alat ukur ini memerlukan beberapa kali pengaturan kalibrasi. Agak kontras dengan cara kalibrasi TDS-3 yang hanya dengan mengubah nilai satu potensiometer saja.

3. PERANCANGAN

Pada Gambar 3 ditunjukkan sebagian rangkaian sistem mikrokontroler ATmega 8535/32 untuk memperjelas ide yang dimaksud. Sensor terhubung dengan PA0 dan PA1 sebagai masukan ADC0 dan ADC1. ADC yang digunakan pada ATmega ini adalah tipe *Successive Approximation* 10 bit dengan referensi AVCC.

Pembangkit tegangan *push-pull* dikeluarkan oleh PB0, dan PB1. Spesifikasi sensor konduktivitas yang digunakan adalah sensor dengan konstanta satu yang memiliki jangkauan 5 – 1000 ppm. Sedangkan untuk sensor suhu digunakan LM35 yang menghasilkan tegangan sebanding dengan suhu dikali dengan 10 mV. Nilai tegangan dari port B saat berlogika tinggi dan rendah perlu diukur untuk mengetahui rentang tegangan yang dikeluarkan oleh PB0-PB1.



Gambar 3. Bagian Sensor TDS, *push-pull*, dan pembatas arus ($R_{seri}=1k$)

Langkah percobaan dari model ini adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi (UART, ADC, PORT B, $R=1k/0,1\%$) dan variabel yang digunakan.
2. Atur JDA = Tinggi (H) dan JDB = Rendah (L)
3. Ambil dan simpan nilai konversi dari ADC0, dan ADC1

4. Set JDB = H dan JDA = L
5. Ambil dan simpan nilai konversi dari ADC0, dan ADC1
6. Ambil nilai konversi keluaran LM35 di ADC2.
7. Hitung Nilai Resistan (R) sesuai dengan persamaan (6)
8. Hitung nilai Konduktan (1/R)
9. Hitung nilai TDS(t) dengan persamaan 1.
10. Hitung TDS yang dikalibrasi dengan suhu 25 °C sesuai Persamaan 8.
11. Tampilkan di LCD, dan kirim melalui UART. Ulangi langkah 2.
12. Ganti R dengan nilai-nilai ½ k, 2k, 3k, dan 4k. Ulangi langkah 1.

Perhitungan R dari Gambar 3 dapat diperoleh dari Persamaan-persamaan (9) hingga (13).

$$V_{01} = R \times V_{HL} / (2k + R) \quad (9)$$

$$V_{01} \times (2k + R) = R \times V_{HL} \quad (10)$$

$$R \times V_{HL} = 2k \times V_{01} + R \times V_{01} \quad (11)$$

$$R (V_{HL} - V_{01}) = 2k \times V_{01} \quad (12)$$

$$R = (2k \times V_{01}) / (V_{HL} - V_{01}) \quad (13)$$

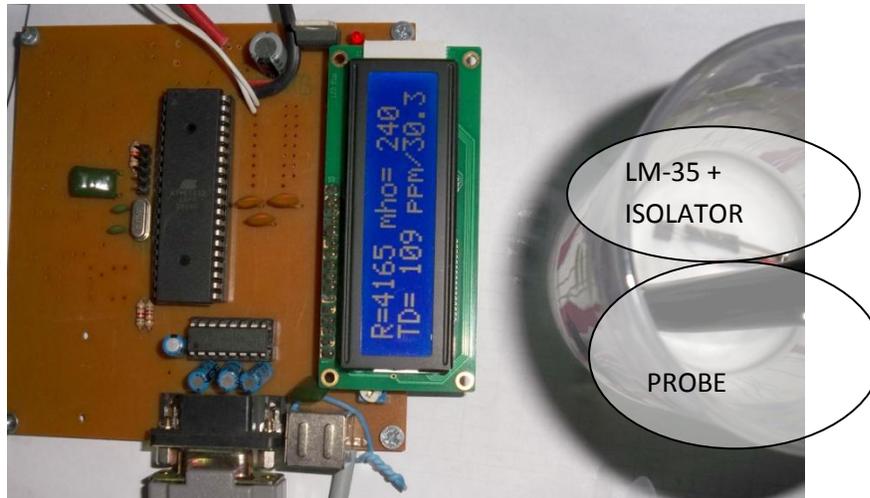
Di mana:

V_{01} = selisih tegangan yang diperoleh dari ADC0 dan ADC1.

V_{HL} = selisih tegangan yang diperoleh dari V_H - V_L dari Port B.

2k = pembatas arus ($R_{s1}=1k$ dan $R_{s2}=1k$) yang mengalir keluar dan masuk Port B.

R = resistan yang dicari.



Gambar 4. Modul realisasi rangkaian Gambar 1, Rs1 dan Rs2 diletakkan di bawah PCB.

Gambar 4 menunjukkan modul pengujian yang telah dibuat. Resistor Rs1 dan Rs2 yang masing-masing bernilai 1k diletakkan pada sisi solder. Probe yang digunakan memiliki nilai k=1. LM35 dan isolator dicelupkan ke dalam air. Pin-pin LM35 dicat untuk melindungi pin-pin LM35 dari kontak secara elektrik.

4. PENGUJIAN

Tabel 1. Hasil pengujian dengan RX ½ k, 1k, 2k, 3k, 4k ohm

| No | VAB | V01 | RX | μ mho | TDS(t) | RX-MM | Ralat % |
|----|-----|-------|--------------|-----------|--------|-------------|---------|
| 1 | 1,0 | 4,876 | 498 | 2.007 | 1.003 | 499 | -0,20 |
| 2 | 1,6 | 4,891 | 1.000 | 1.000 | 500 | 999 | 0,10 |
| 3 | 2,5 | 4,911 | 2.006 | 499 | 249 | 1997 | 0,45 |
| 4 | 3,0 | 4,922 | 3.006 | 333 | 166 | 2997 | 0,30 |
| 5 | 3,3 | 4,930 | 4.014 | 249 | 125 | 4000 | 0,35 |

Pengujian dilakukan dengan menggantikan R sensor dengan R sebesar ½ k (498), 1k (1000), 2k (2006), 3k (3006), 4k (4014) ohm. Resistor yang digunakan adalah seri maupun paralel dari Resistor 1k/ 0,1%. Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran dengan alat yang dibuat (RX) dan dengan multimeter ¾ digit Constant 89 (RX-MM). Ralat yang didapatkan adalah 0,45%. Alat juga menghasilkan turunan dari RX yaitu konduktan elektrik (μ S) dan TDS(t) (ppm).

ALAT PENGUKUR RESISTANSI, KONDUKTIVITAS, DAN TOTAL DISSOLVED SOLIDS AIR DENGAN TEKNIK DORONG-TARIK

Darmawan Utomo

Pengujian juga dilakukan untuk sensor yang tidak tercelup ke dalam air. Pada saat tidak tercelup ke air, hambatan yang ada adalah hambatan udara dan dielektrik. Nilai R yang terukur $1,9 \times 10^6 - 2 \times 10^6$ ohm karena selisih $V_{HL} - V_{01}$ yang sangat kecil.

Pengujian di dalam air dilakukan dengan mengambil air dari keran PDAM Surakarta dan memberi tambahan garam halus. Ralat diperoleh dengan membandingkan hasil dari alat sendiri terhadap TDS-3 buatan HM-Digital dengan TDS-3 sebagai acuan. Tabel 2 memperlihatkan hasilnya. Ralat yang didapatkan dari pengujian ini adalah 1,61%.

Tabel 2. Hasil pengujian alat ukur TDS yang dibuat terhadap TDS-3.

| No | Keterangan | TDS-Alat Sendiri | TDS-3 | Ralat % |
|----|----------------------|------------------|-------|---------|
| 1 | Air PDAM | 112 | 113 | -0,88 |
| 2 | Penambahan Garam I | 189 | 186 | 1,61 |
| 3 | Penambahan Garam II | 261 | 260 | 0,38 |
| 4 | Penambahan Garam III | 394 | 390 | 1,03 |

Hasil ini juga menunjukkan tingkat linearitas antara alat sendiri dengan TDS-3. Kalibrasi TDS-3 terhadap larutan tertentu dilakukan dengan memutar sebuah resistor variabel. Akibatnya penguatannya akan berubah. Pada alat sendiri, kalibrasi dapat dilakukan dengan memberi faktor pengali sesuai dengan hasil perbandingan yang didapatkan.

5. KESIMPULAN

Telah ditunjukkan sebuah teknik dorong-tarik pengukuran resistansi, konduktivitas elektrik, dan TDS melalui pin *port* yang tegangannya diukur dengan ADC mikrokontroler. Ralat yang diperoleh dari pengujian resistor 1k/0,1% dan kombinasi seri dan paralel (½k, 1k, 2k, 3k, 4k) sebesar 0,45%. Alat ini juga berhasil diimplementasikan untuk mengukur TDS air yang diberi tambahan garam. Ralat alat ini terhadap TDS-3 sebesar 1,61 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai dari Penelitian Internal UKSW dengan nomor kontrak 001/SPK-PB/PRV/XII/2011.

DAFTAR PUSTAKA

1. Miroslav R. and Vladimir N. B., “Practical Environmental Analysis, 2nd Ed.”, Cambridge: Royal Society of Chemistry Publishing, 2006.
2. Coleparmer, “Conductivity Theory and Technical Tips”, [coleparmer.com/TechLibrary Article/78](http://coleparmer.com/TechLibrary/Article/78), 2006.
3. HM-Digital, “TDS Meter 3, Water Quality Tester User Guide”, HM Digital Inc.
4. Anonim, “EC/TDS/PPM Meter On Limited Budget”, octiva.net/projects/ppm/, 2007