

ALAT PENGUKUR WARNA DARI TABEL INDIKATOR UNIVERSAL PH YANG DIPERBESAR BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO

Rizky Satrio Wibowo¹, Muhamad Ali²

^{1,2}Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FT UNY

Email: rizkysatriowibowo64@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this research are : 1) To plan and construct the pH color scanner instrument with colored paper as the media which is based on universal pH table indicator, 2) To carry out testing on color scanner instrument for enlarged universal pH indicator table. The method used to make this instrument is using research approach Research and Development (R&D). The research step is based on development research model Borg and Gall which contains : 1) system necessity analytics for the instrument, 2) hardware and software system planning, 3) instrument construction, 4) instrument testing, 5) implementation. Error value from this instrument is 22,802% counted with Mean Square Error (MSE) method. This instrument could recognize color accurately from pH 1 to pH 14, but this instrument encounter an error on scanning the value of pH 12 and pH 14. This problem appear because the detected RGB value on that pH is nearly same level so that caused an instability on LCD that showing the scanning result.

Keywords: colored paper, universal pH indicator table

ABSTRAK

Tujuan dari ini adalah: 1) Merancang dan membangun alat pengukur pH dengan media kertas warna sesuai warna tabel indikator universal, 2) Melakukan pengujian alat pengukur warna dari tabel indikator universal pH. Metode pembuatan alat ini menggunakan pendekatan penelitian pengembangan Research and Development (R&D). Tahap-tahap penelitian mengacu pada model penelitian pengembangan Borg and Gall yang terdiri dari: 1) analisis kebutuhan sistem alat pengukur pH media kertas warna, 2) perancangan sistem baik hardware maupun software, 3) pembuatan alat, 4) pengujian alat, 5) implementasi. Nilai kesalahan alat ini sebesar 22,802 % dihitung dengan metode Mean Square Error (MSE). Alat ini mampu membedakan warna dengan cukup akurat untuk pemindaian warna antara pH 1 sampai pH 14, namun alat ini mengalami masalah saat membedakan antara warna pH 12 dan 14. Hal ini disebabkan nilai RGB yang terdeteksi hampir sama sehingga terjadi ketidakstabilan tampilan nilai pH pada LCD saat memindai warna tersebut.

Kata kunci: kertas warna, tabel indikator universal

PENDAHULUAN

Asam dan basa merupakan dua golongan zat kimia yang sangat penting. Asam dan basa sudah dikenal sejak zaman dulu. Istilah asam (*acid*) berasal dari bahasa Latin *acetum* yang berarti cuka. Istilah basa (*alkali*) berasal dari bahasa Arab yang berarti abu. Basa digunakan dalam pembuatan sabun. Asam dan basa saling menetralkan. Di alam, asam ditemukan dalam buah-buahan, misalnya asam sitrat di buah jeruk yang berfungsi untuk memberi rasa limun yang tajam. Cuka mengandung asam asetat, dan

asam tanak dari kulit pohon digunakan untuk menyamak kulit. Asam mineral yang lebih kuat telah dibuat sejak abad pertengahan, salah satunya adalah aqua forti (asam nitrat) yang digunakan oleh para peneliti untuk memisahkan emas dan perak. Berkaitan dengan sifat asam dan basa, larutan dikelompokkan dalam tiga golongan yaitu bersifat asam, basa dan netral.

Sifat asam-basa dari suatu larutan dapat ditunjukkan dengan mengukur pH nya. pH adalah suatu parameter yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman larutan. Larutan asam mempunyai pH lebih kecil dari 7. Larutan

basa mempunyai pH lebih besar dari 7. Sedangkan larutan netral mempunyai $pH = 7$.

Mempelajari cara menentukan pH dan sifat larutan sangat penting untuk mengetahui apakah larutan itu bersifat asam ataupun basa. Biasanya cara yang digunakan untuk menentukan sifat dan pH larutan adalah dengan menggunakan indikator. Indikator tersebut antara lain kertas lakmus, larutan fenolftalein, brom timol biru, metil merah, serta metil orange.

Senyawa asam banyak kita jumpai pada kehidupan sehari-hari. Semua senyawa asam mempunyai rasa masam/kecut. Rasa masam/kecut ini disebabkan oleh adanya senyawa yang bersifat asam. Buah-buahan memiliki rasa asam berkat adanya senyawa asam yang dikandungnya. Jeruk mengandung asam sitrat sedangkan anggur mengandung asam tartrat. Air susu yang basi mengandung asam laktat. Selain itu, senyawa asam dapat kita temukan juga dalam lambung dan darah. Dalam lambung terdapat asam klorida yang berperan pada pencernaan makanan serta dalam darah terdapat asam karbonat dan asam fosfat yang berperan pada pengangkutan makanan. (Aufar, 2012)

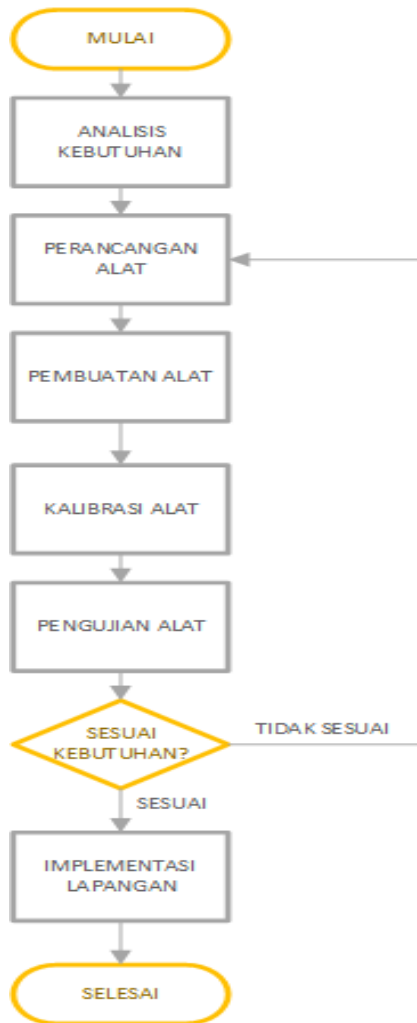
Seperti halnya asam, basa juga banyak di jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Para ibu rumah tangga menggunakan abu gosok untuk mencuci piring. Basa dalam abu gosok dapat bereaksi dengan kotoran berupa lemak/minyak, sehingga menjadi larut. Sedangkan, untuk mencuci piring yang sangat berminyak perlu menggunakan sabun. Sabun dapat melarutkan lemak dan minyak. Para penderita magh selalu minum obat berupa magnesium hidroksida atau aluminium hidroksida (Aufar, 2012). Ada beberapa cara yang lazim digunakan para ilmuwan dan manusia dalam mengukur pH suatu larutan, diantaranya adalah dengan menggunakan indikator universal atau tabel indikator pH, menggunakan pH meter, menggunakan kertas lakmus ataupun melalui perhitungan dengan mengetahui konsentrasi suatu larutan tersebut.

Masing-masing metode pengukuran memiliki kelebihan dan kekurangan sendiri. Bila menggunakan kertas lakmus dan indikator universal pH, tingkat akurasi pengukuran tidak terlalu tepat dikarenakan keterbatasan manusia dalam membandingkan warna kertas lakmus. Selain itu, tingkat ketelitian hasil pengukuran tidak bisa sampai nilai satu digit dibelakang koma yang meningkatkan kemungkinan terjadinya kesalahan baca nilai pH sehingga menyebabkan kesalahan penindaklanjutan bahan uji coba yang menyebabkan reaksi berantai menuju hal-hal yang tidak diinginkan pengguna. Tetapi metode pengukuran ini relatif lebih murah, sehingga masih banyak orang yang menggunakan metode ini, contohnya para pelajar. Bila menggunakan alat pH meter, maka hasil pengukuran bisa akurat dan cepat, namun metode pengukuran ini relatif lebih mahal.

Tujuan Proyek Akhir ini yaitu membuat alat deteksi warna tabel indikator universal sehingga mampu meningkatkan nilai akurasi pengukuran dan menghindari terjadinya kesalahan nilai baca hasil pengukuran dan dapat mengurangi terjadinya kesalahan penindaklanjutan larutan yang di uji.

METODE

Metode yang dilakukan dalam pengembangan “Alat Pengukur Warna Dari Tabel Indikator Universal pH Yang Diperbesar Berbasis Mikrokontroler Arduino” menggunakan pendekatan penelitian pengembangan atau *Research and Development*. Tahap-tahap penelitian mengacu pada model penelitian pengembangan model *Borg dan Gall* yang dapat dijelaskan pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metode Pelaksanaan

Pada sistem kendali dikenal sistem lup terbuka (*open loop system*) dan sistem lup tertutup (*closed loop system*). Dalam sistem kendali lup tertutup sinyal aktuasi *error*, yang merupakan selisih antara sinyal *input* dan sinyal *feedback* (yang merupakan sinyal *output* itu sendiri atau sebuah fungsi dari sinyal *output* dan derivatif dan/atau integralnya), diumpangkan ke kontrolernya untuk mengurangi *error* dan menghasilkan *output* sistem yang sesuai keinginan. Dalam sistem kendali lup terbuka *outputnya* tidak diukur dan tidak diumpangkan kepada kontroler dengan tujuan untuk membandingkannya dengan *input* (Ogata, 1997). Alat Pengukur Warna Dari Tabel Indikator Universal pH Yang Diperbesar Berbasis Mikrokontroler Arduino cocok dengan sistem kendali lup terbuka karena *outputnya* tidak perlu diukur dan tidak diumpangkan kepada kontroler.



Gambar 2. Komponen Dasar Sistem Kendali Lup Terbuka



Gambar 3. Komponen Utama Alat


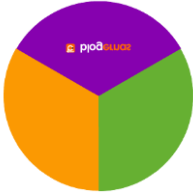
Setelah melaksanakan analisis kebutuhan, selanjutnya dilakukan perancangan alat. Untuk mengimplementasikan alat tersebut dibutuhkan komponen utama: 1) sensor warna TCS 3200, sebagai sensor *input* data pada alat yang mampu memindai warna. 2) mikrokontroler arduino uno, sebagai media pengolah data utama pada alat, 3) LCD 16x2, sebagai penampil hasil pengolahan data yang dapat digunakan oleh pemakai alat. Berikut ini adalah blok diagram sistem secara lengkap seperti ditunjukkan pada gambar 3.

Alat pengukur warna dari tabel indikator universal pH yang diperbesar dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler yang mendapat input dari sensor warna TCS 3200. Sinar cahaya warna putih sebenarnya adalah gabungan dari semua warna. Ketika permukaan benda menampilkan warna merah, maka yang terjadi sebenarnya adalah cahaya hijau dan biru yang ditembakkan kepada objek akan diserap permukaan benda tersebut dan hanya warna merah saja lah yang dipantulkan

kembali. Pantulan cahaya dari permukaan benda inilah yang akan dimanfaatkan photodiode yang peka terhadap warna merah. Untuk warna lain selain 3 warna merah, hijau, dan biru, prinsip dasarnya hampir sama yang membedakan hanya spektrum pantulan kembali dari objek yang dipindai. Untuk lebih jelasnya, dapat dipahami dengan teori warna Brewster.

Pada tahun 1831, seorang fisikawan skotlandia bernama Sir David Brewster mengemukakan sebuah teori tentang warna. Inti dari teori yang ia kemukakan adalah meskipun jumlah warna bisa menjadi tak terhingga, tapi semua itu bisa diringkan menjadi beberapa kelompok atau kategori. Brewster menyimpulkan ada 4 kelompok warna yaitu warna primer, sekunder, tersier, dan netral. Bagaimanapun proses pencampuran warna yang terjadi pasti bisa dilacak asal – usulnya dan dikelompokkan menjadi 4 kelompok tersebut.

Tabel 1. 4 Kelompok Warna Menurut Teori Brewster

Kelompok warna	Definisi
<p style="text-align: center;">Warna Primer (Merah, Kuning, Biru)</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 4. Kelompok Warna Primer</p>	<p>Warna primer adalah warna dasar yang tidak merupakan campuran dari warna lain.</p>
<p style="text-align: center;">Warna Sekunder (Orange, Hijau, Ungu)</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5. Kelompok Warna Sekunder</p>	<p>Merupakan hasil pencampuran warna-warna primer dengan proporsi 1:1.</p>

<p>Warna Tersier (Coklat, Jingga, Abu – abu)</p>  <p>Gambar 6. Kelompok Warna Tersier</p>	<p>Merupakan campuran satu atau lebih warna primer dengan satu atau lebih warna sekunder.</p>
<p>Warna Netral (Putih dan Hitam)</p>  <p>Gambar 7. Kelompok Warna Netral</p>	<p>Warna netral merupakan hasil campuran ketiga warna dasar dalam proporsi 1:1:1.</p>

(Sumber gambar : <http://www.blogernas.com/2016/07/teori-lingkaran-warna-brewster.html>)

Dengan begitu maka sensor warna TCS 3200 tersebut mampu untuk memindai seluruh warna yang ada dalam *range* pH 1 – 14. Yang membedakan hasil pindaianya hanya nilai reseptor yang diterima masing – masing photodiode saja.

Setelah nilai warna didapatkan, maka data tersebut akan dibandingkan dengan data base dari warna di tabel indikator universal pH yang sebelumnya sudah disimpan sehingga dapat diketahui warna dari kertas warna yang terpindai mirip dengan warna kertas lakmus yang telah tercelup yang ada dalam *range* pH 1 – 14.

Untuk memastikan rancangan sudah dapat bekerja maka dilakukan simulasi dengan software Proteus sehingga dapat mengurangi kesalahan dalam pembuatan. Ketika simulasi sudah berjalan dengan baik, maka selanjutnya melaksanakan pembuatan rancangan alat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Alat

Dalam pembuatan rangkaian *Permanent Circuit Board (PCB)* penulis menggunakan software EAGLE. Sedangkan software pemrograman yang penulis gunakan merupakan software bawaan dari arduino yaitu IDE *Arduino Compiler*.

Setelah rancangan alat jadi, tahap selanjutnya adalah pembuatan alat yang terdiri dari: 1) Pembelian alat dan bahan yang dibutuhkan. 2) Pembuatan mekanik PCB, 3) Pembuatan rangkaian elektronik. 4) Penyusunan alat secara lengkap. 6) Pengemasan alat. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah masing-masing bagian alat sudah sesuai yang diharapkan atau belum, jika belum maka dilakukan perbaikan pada alat supaya alat bekerja sesuai yang diharapkan.











Hasil penelitian adalah berupa alat pengukur warna dari tabel indikator universal pH yang diperbesar berbasis mikrokontroler arduino.



Gambar 8. Alat Pengukur Warna Dari Tabel Indikator Universal pH Yang Diperbesar Berbasis Mikrokontroler Arduino

b. Hasil Data Pengujian Alat pindai. Pengujian dilakukan dengan 14 Pengujian keseluruhan sistem dilakukankemungkinan warna yang ada untuk mewakili 14 dengan menempatkan kertas warna sesuai warnaingkat pH. Hasil pengujian keseluruhan sistem pH yang diambil dari tabel indikator pH universallapat dilihat pada tabel 2. pada sensor TCS 3200 dan menekan tombol

Tabel 2. Data hasil pengujian rangkaian keseluruhan

No	Nilai pH	Nilai RGB Pada Software Photoshop			Nilai RGB Hasil Uji Coba		
		R	G	B	R	G	B
1	1 	237	50	55	$185 \leq x \leq 215$	$13 \leq x \leq 39$	$23 \leq x \leq 45$
2	2 	247	65	41	$205 \leq x \leq 215$	$44 \leq x \leq 59$	$30 \leq x \leq 43$
3	3 	235	93	31	$193 \leq x \leq 208$	$38 \leq x \leq 53$	$20 \leq x \leq 35$
4	4 	238	133	28	$212 \leq x \leq 220$	$84 \leq x \leq 98$	$25 \leq x \leq 39$
5	5 	234	172	37	$215 \leq x \leq 225$	$120 \leq x \leq 130$	$30 \leq x \leq 45$
6	6 	231	182	40	$215 \leq x \leq 225$	$130 \leq x \leq 145$	$38 \leq x \leq 53$
7	7 	183	177	55	$180 \leq x \leq 193$	$123 \leq x \leq 138$	$29 \leq x \leq 45$
8	8 	83	124	51	$60 \leq x \leq 73$	$49 \leq x \leq 63$	$0 \leq x \leq 5$
9	9 	71	112	68	$40 \leq x \leq 60$	$36 \leq x \leq 53$	$0 \leq x \leq 5$
10	10 	76	88	102	$25 \leq x \leq 43$	$10 \leq x \leq 23$	$16 \leq x \leq 32$

1 1	11 ■	78	72	86	$25 \leq x \leq 39$	$0 \leq x \leq 5$	$0 \leq x \leq 15$
1 2	12 ■	82	58	85	$5 \leq x \leq 18$	$0 \leq x \leq 5$	$0 \leq x \leq 5$
1 3	13 ■	115	58	90	$60 \leq x \leq 73$	$0 \leq x \leq 5$	$0 \leq x \leq 18$
1 4	14 ■	90	44	67	$18 \leq x \leq 30$	$0 \leq x \leq 5$	$0 \leq x \leq 5$

c. Analisis Hasil Data

Dari data diatas dapat kita hitung persentasi kesalahan alat dengan menggunakan rumus statistika rata-rata jumlah kuadrat kesalahan (*Mean Square Error/MS_E*) sebagai berikut :

$$MS_E = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - F_i)^2}{n - 1}$$

Dimana $x_i = data\ acuan\ untuk\ ke - i$
 $F_i = data\ alat\ untuk\ ke - i$
 $n = jumlah\ data$
 $i = urutan\ data$

Karena jenis data nilai pada alat merupakan jenis data tunggal yang memiliki *range* tertentu, maka diperlukan menentukan median (nilai tengah) dari data tersebut. Cara menentukan median diawali dengan mengurutkan nilai data dari yang paling kecil menuju ke yang paling besar. Kemudian mengambil nilai tengah diantara data yang sudah diurutkan.

Langkah berikutnya menggunakan salah satu dari rumus dibawah ini. Jika data berjumlah ganjil, maka perhitungan median menggunakan

rumus

$$Me = \frac{1}{2} \left(x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right)$$















Jika data berjumlah genap, maka perhitungan median menggunakan rumus :

$$Me = x \left(\frac{n+1}{2} \right)$$

Dimana $Me =$ Median
 $x =$ nilai data
 $n =$ jumlah data

Dengan mengaplikasikan rumus median tersebut, maka diperoleh data tabel nilai median dari hasil data uji coba alat yang dapat dilihat pada tabel 3.


Tabel 3. Median dari Data Hasil Uji Coba














No	Nilai pH	Nilai RGB Hasil Uji Coba			Nilai Median Data Uji Coba		
		R	G	B	R	G	B
1	1 	$185 \leq x \leq 215$	$13 \leq x \leq 39$	$23 \leq x \leq 45$	200	26	34
2	2 	$205 \leq x \leq 215$	$44 \leq x \leq 59$	$30 \leq x \leq 43$	210	51,5	36,5
3	3 	$193 \leq x \leq 208$	$38 \leq x \leq 53$	$20 \leq x \leq 35$	200,5	45,5	27,5
4	4 	$212 \leq x \leq 220$	$84 \leq x \leq 98$	$25 \leq x \leq 39$	216	91	32
5	5 	$215 \leq x \leq 225$	$120 \leq x \leq 130$	$30 \leq x \leq 45$	220	134	37,5
6	6 	$215 \leq x \leq 225$	$130 \leq x \leq 145$	$38 \leq x \leq 53$	220	137,5	45,5
7	7 	$180 \leq x \leq 193$	$123 \leq x \leq 138$	$29 \leq x \leq 45$	186,5	130,5	37
8	8 	$60 \leq x \leq 73$	$49 \leq x \leq 63$	$0 \leq x \leq 5$	66,5	56	2,5
9	9 	$40 \leq x \leq 60$	$36 \leq x \leq 53$	$0 \leq x \leq 5$	50	44,5	2,5
10	10 	$25 \leq x \leq 43$	$10 \leq x \leq 23$	$16 \leq x \leq 32$	34	16,5	23,5
11	11 	$25 \leq x \leq 39$	$0 \leq x \leq 5$	$0 \leq x \leq 15$	31,5	2,5	7,5
12	12 	$5 \leq x \leq 18$	$0 \leq x \leq 5$	$0 \leq x \leq 5$	11,5	2,5	2,5
13	13 	$60 \leq x \leq 73$	$0 \leq x \leq 5$	$0 \leq x \leq 18$	66,5	2,5	9
14	14 	$18 \leq x \leq 30$	$0 \leq x \leq 5$	$0 \leq x \leq 5$	24	2,5	2,5

Setelah mendapatkan nilai median, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai rata-rata jumlah kuadrat kesalahan (MS_E). MS_E dapat dihitung dengan cara

membandingkan nilai RGB pada photoshop dengan nilai RGB pada median data hasil uji coba.

Tabel 4. Tabel Analisis Statistik Hasil Data Uji Coba

PH	Urut (i)	Acuan (x_i)	Median Data (F_i)	$x_i - F_i$	$(x_i - F_i)^2$
1 	1	237	200	37	1369
	2	50	26	24	576
	3	55	34	21	441

2 	4	247	210	37	1369
	5	65	51,5	13,5	182,25
	6	41	36,5	4,5	20,25
3 	7	235	200,5	34,5	1190,25
	8	93	45,5	47,5	2256,25
	9	31	27,5	3,5	12,25
4 	10	238	216	22	484
	11	133	91	42	1764
	12	28	32	4	16
5 	13	234	220	14	196
	14	172	134	38	1444
	15	37	37,5	0,5	0,25
6 	16	231	220	11	121
	17	182	137,5	44,5	1980,25
	18	40	45,5	5,5	30,25
7 	19	183	186,5	3,5	12,25
	20	177	130,5	46,5	2162,25
	21	55	37	18	324
8 	22	83	66,5	16,5	272,25
	23	124	56	68	4624
	24	51	2,5	48,5	2352,25
9 	25	71	50	21	441
	26	112	44,5	67,5	4556,25
	27	68	2,5	65,5	4290,25
10 	28	76	34	42	1764
	29	88	16,5	71,5	5112,25
	30	102	23,5	78,5	6162,25
11 	31	78	31,5	46,5	2162,25
	32	72	2,5	69,5	4830,25
	33	86	7,5	78,5	6162,25
12 	34	82	11,5	70,5	4970,25
	35	58	2,5	55,5	3080,25
	36	85	2,5	82,5	6806,25
13 	37	115	66,5	48,5	2352,25
	38	58	2,5	55,5	3080,25
	39	90	9	81	6561
14 	40	90	24	66	4356
	41	44	2,5	41,5	1722,25
	42	67	2,5	64,5	4160,25
Σ				1711	95768,5

Dari tabel 4, telah didapatkan variabel-variabel yang diperlukan untuk menghitung MS_E .

Langkah selanjutnya memasukkannya pada rumus.

$$MS_E = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - F_i)^2}{n - 1} = \frac{95768,5}{42} = 2.280,2$$

Untuk menampilkannya dalam bentuk persentase, maka nilai tersebut dikalikan 100 %.

$$\% MS_E = MS_E \times 100\% = 2.280,2 \times 100\% = 22,802\%$$

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa alat simulasi pengukur tingkat ph dengan media kertas warna berbasis mikrokontroler arduino mempunyai beberapa tingkat persentase kesalahan sebesar 22,802%. Hal ini dikarenakan tingkat kesensitifan sensor TCS 3200 dan faktor lingkungan seperti debu, tingkat kecerahan ruangan, dan lain-lain yang dapat berpengaruh terhadap hasil kerja alat.

SIMPULAN

Perancangan dan pembangunan alat pengukur warna dari tabel indikator universal pH yang diperbesar berbasis mikrokontroler arduino berhasil dibangun sesuai dengan tujuan dan disusun dengan sensor utama TCS 3200. Media pengambil keputusan yang digunakan adalah mikrokontroler arduino uno. *Output* hasil pengolahan data ditampilkan oleh sebuah LCD 16x2. Nilai kesalahan alat ini sebesar 22,802 % dihitung dengan metode *Mean Square Error* (MS_E). Alat ini mampu membedakan warna dengan akurat untuk pemindaian warna antara pH 1 sampai pH 14, namun alat ini mengalami masalah saat membedakan warna pH 12 dan 14. Hal ini disebabkan nilai RGB yang terdeteksi hampir sama sehingga terjadi ketidakstabilan tampilan nilai pH pada LCD saat memindai warna tersebut.

DAFTAR RUJUKAN

- Ali, Mohammad. (2011) *Pengantar Sistem Kontrol*. Diktat Perkuliahan. Teknik Elektro Fakultas Teknik UNY, Yogyakarta.
- Anas, Erianto. (2016) Pengertian Teori dan Lingkaran Warna Brewster diakses pada 4 Maret 2017, dari <http://www.blogernas.com/2016/07/teori-lingkaran-warna-brewster.html>
- Arduino. (2017) *Datasheets for Arduino Uno Rev 3 ATmega328*. diakses tanggal 4 Maret 2017, dari <https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBo> arduino
- Hidayatullah, Syarif. (2015). *Cara Mudah Menguasai Statistik Deskriptif*. Jakarta: Penerbit Salemba Teknika.
- Lampiran 2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Melati, S.S. (2017). *Detektor Warna Kertas Lakmus PH Menggunakan TCS 3200 Berbasis Arduino*. Laporan Kolokium, Pendidikan Fisika A Fakultas Matematika dan Ilmu

- Pengetahuan Alam UNY,
Yogyakarta.
- Ogata, Katsuhiko. (1995). *Modern Control Engineering 1st Edition* (Edi Leksono. Terjemahan). Jakarta. Buku asli diterbitkan tahun 1970.
- Ogata, Katsuhiko. (1997). *Modern Control Engineering 3rd Edition*. New Jersey: *University of Minnesota*.
- Paryanto. (2011) *Mengukur PH Tanah Dengan Kertas Lakmus/PH Indikator*. diakses tanggal 4 Maret 2017, dari <http://www.gerbangpertanian.com/2011/03/mengukur-ph-tanah-dengan-kertas-lakmus.html>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun.
- Teknik Elektro Universitas Widyagama Malang. Pengantar Dasar Sistem Kendali Elektrik. Diktat Perkuliahan.
- Texas Advanced Optoelectronic Solution*. (2009) *Datasheets for TCS 3200, TCS 3210 Programmable Color Light-to-Frequency Converter*.
- Utami, Ita. (2015) *Laporan Praktikum Kimia PH Asam Basa* diakses pada tanggal 4 Maret 2017, dari <https://itautami35.wordpress.com/2015/01/01/laporan-praktikum-kimia-ph-asam-basa/>
- Vishay*. (2002) *Datasheets for LCD-016M002B 16 x 2 Character LCD*.
- Yatmono, Sigit. (2015) *Pengantar Arduino*. Diktat perkuliahan. Teknik Elektro Fakultas Teknik UNY, Yogyakarta.