

Alat Pengatur Kekentalan Tinta (Juli 2013)

Alva Kosasih, Mochammad Rif'an, dan Zainul Abidin

Abstrak—Pengaturan kekentalan tinta dibutuhkan oleh setiap pelaku industri percetakan. Dalam industri percetakan, kekentalan tinta akan menjadi penentu baik tidaknya kualitas hasil percetakan. Hal ini disebabkan kekentalan tinta akan menentukan pudar dan pekatnya warna tinta yang dihasilkan. Metode yang digunakan untuk pengaturan kekentalan tinta ini berbasis *fuzzy*. Selain itu pada alat pengatur tersebut dilengkapi dengan fasilitas bagi pengguna untuk mengubah-ubah target parameter baik suhu maupun kekentalan itu sendiri.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa untuk keadaan encer didapatkan waktu tempuh kekentalan sebesar 126 ms, keadaan encer cenderung sedang sebesar 513 ms, keadaan sedang sebesar 1053 ms, keadaan sedang cenderung kental sebesar 1345 ms, keadaan kental sebesar 2949 ms.

Parameter *membership function fuzzy* adalah eror antara ≤ -2436 sampai -5 adalah *Negative Big* (NB), eror antara -292 sampai $+5$ adalah *Negative Small* (NS), eror antara -5 sampai $+5$ adalah *Zero* (Z), eror antara $+5$ sampai $+292$ adalah *Positive Small* (PS), dan eror antara $+292$ sampai ≥ 2436 adalah *Positive Big* (PB).

Kata Kunci—Tinta, pengaturan kekentalan, *fuzzy*

I. PENDAHULUAN

Industri percetakan mengalami pertumbuhan yang pesat pada saat ini. Para pelaku usaha di industri percetakan memperkirakan industri berbasis percetakan, penerbitan, dan *converting* pada tahun 2012 dapat tumbuh menjadi 5,3% dimana pada tahun 2011 hanya 4,7% [1]. Ketua Persatuan Grafika Indonesia, Jimmy Juneanto mengatakan Indonesia adalah produsen kertas nomor enam dunia yang mengeksport produksinya. Hal-hal ini menjadi bukti yang menunjang pernyataan bahwa industri percetakan Indonesia memainkan peranan penting dalam dunia perekonomian. Dengan pertumbuhan tersebut, tentu dibutuhkan peningkatan kualitas serta kuantitas dalam semua aspek industri percetakan. Salah satu aspek penting tersebut adalah aspek peningkatan kualitas hasil produksi.

Alva Kosasih adalah mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (no telepon korespondensi penulis 087859519719; email alva_thom@yahoo.com)

Mochammad Rif'an, ST., MT. adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (rif_an91@yahoo.com)

Zainul Abidin, ST., MT., M.Eng adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (zainulelektro@gmail.com)

Dalam peningkatan kualitas hasil produksi diperlukan suatu alat yang dapat mengukur kekentalan tinta. Sekaligus melakukan suatu tindakan/kontrol sehingga viskositas tinta sesuai dengan yang diinginkan. Nilai viskositas di satu sisi adalah besaran yang sangat penting dalam menentukan kualitas hasil produksi. Jika nilainya terlalu besar akan berakibat pada tidak ratanya ketebalan tinta pada hasil percetakan demikian pula warnanya akan cenderung lebih gelap daripada yang diinginkan. Jika nilainya terlalu kecil maka warna yang dihasilkan akan pudar atau terlalu muda.

Salah satu sistem pengaturan yang dapat digunakan untuk pengukuran tersebut adalah sistem pengaturan *fuzzy*. Keunggulan dari sistem pengaturan tersebut terletak pada kemampuannya untuk memetakan derajat keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sistem pengaturan kekentalan tinta berbasis kontrol logika *fuzzy* dimana parameter target dapat diubah-ubah oleh pengguna.

II. IDENTIFIKASI SISTEM

A. Pompa Aktuator

Pompa yang digunakan pada perancangan alat ini adalah pompa tinta beresolusi 30 liter/meter dan pompa air dengan resolusi 800 liter/jam. Pompa tinta digunakan untuk mengalirkan tinta ke tabung penguji, sedangkan pompa air digunakan untuk mengalirkan air sebagai pengencer.



Sumber : <http://www.made-in-china.com>
Gambar 1. Pompa tinta



Sumber : www.asia.ru
Gambar 2. Pompa air

B. Sensor Magnetik

Sensor magnetik adalah sebuah transduser yang mengubah fluksi magnetik menjadi suatu nilai tegangan. Sensor magnetik yang digunakan dalam perancangan ini

adalah UGN 3503 U yang menggunakan efek hall sebagai dasar cara kerjanya. IC ini adalah IC Hall linear, dimana terdapat 3 komponen utama yaitu: elemen sensor, *amplifier*, dan *buffer* [2]. Sensor ini memberikan tegangan keluaran yang sebanding dengan besarnya fluksi magnetik. Keluaran sensor pada saat medan magnet 0 gauss adalah $\frac{1}{2} * V_{CC}$. Selain itu jika medan bernilai positif (kutub selatan berhimpit dengan IC) maka tegangan keluaran juga semakin besar [3].



Gambar 3. Sensor magnetik UGN 3503 U

Sumber : <http://www.sigmaelectronica.net/sensores-c-25.html>

C. Sensor Suhu

Sensor suhu jenis RTD dengan tipe PT100 merupakan sensor yang cukup lazim digunakan pada dunia industri. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu [4]. PT100 dibuat dari logam platinum sehingga namanya diawali dengan 'PT'. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm.

PT100 tipe DIN (standar Eropa) memiliki resolusi 0,385 ohm per 1°C. Jadi resistansinya akan naik sebesar 0,385 ohm untuk setiap kenaikan suhu 1°C.



Gambar 4. PT100

Sumber : www.picotech.com/applications/pt100

D. Mikrokontroler Arduino-Uno

Mikrokontroler adalah piranti elektronik berupa IC (*Integrated Circuit*) yang memiliki kemampuan manipulasi data (informasi) berdasarkan suatu urutan instruksi (program) yang dibuat oleh *programmer*. Sedangkan Arduino merupakan pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*. Diturunkan dari *wiring platform* dan dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang [5]. Mikrokontroler Arduino-Uno berbasis Atmega 328.

III. PERANCANGAN DAN ALAT

Perancangan alat meliputi pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras meliputi rangkaian *driver* motor, rangkaian *driver* sensor magnet, rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu. Perangkat lunak meliputi perancangan sistem dan program kontrol logika *fuzzy*, perancangan program *input* dan *output* data pada mikrokontroler melalui komputer. Program dibuat menggunakan software arduino ERW 1.0.5.

A. Rangkaian Driver Motor

Rangkaian *driver* motor dalam perancangan ini digunakan untuk menggerakkan pompa tinta dan dua pompa aquarium. *Relay* dirancang dengan posisi normaly-open sehingga *relay* akan aktif jika mikrokontroler berlogika 1 dan mati jika berlogika 0. *Driver* motor berupa transistor NPN digunakan sebagai saklar untuk menghubungkan dan memutuskan *relay* dengan memanfaatkan kondisi jenuh dan *cut-off*nya [6].

Sesuai *datasheet* Atmega328, logika tinggi port B pada pin digital arduino menghasilkan tegangan minimal 4,2 volt dan arus keluaran maksimum 20 mA [7]. *Relay* yang digunakan merupakan *relay* jenis *single coil* 12V. Jenis *relay* dan rangkaian *relay* yang digunakan untuk ketiga *output* yang dikontrol adalah sama, namun nilai hambatan kumparan yang terukur berbeda.

Nilai hambatan kumparan *relay* yang digunakan adalah 160 Ω. Untuk rangkaian *driver* motor, perhitungan R_2 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{OH} &= 4.2 \text{ V} \\ I_{OH} &= 20 \text{ mA} \\ V_{CC} &= V_{CE} + I_C \cdot R_{relay} \\ R_{internal \ relay} &= 160 \Omega \end{aligned} \quad (1)$$

Kondisi *relay* aktif adalah saat $V_{CE \ sat} \neq 0$.

Dari *datasheet* BC546, $V_{CEsat \ max} = 0.25 \text{ V}$, sehingga:

$$\begin{aligned} I_{C \ sat} &= \frac{V_{CC} - V_{CE \ sat \ max}}{R_{relay}} \\ &= \frac{12 - 0.25}{160} \\ &= 73.437 \text{ mA} \end{aligned} \quad (2)$$

Oleh sebab itu, I_C yang digunakan harus $>73.44 \text{ mA}$.

$$\begin{aligned} I_{C \ max} &= 100 \text{ mA} \\ \beta_{min} &= 110 \\ \beta_{max} &= 800 \end{aligned}$$

Sehingga I_B :

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{I_C}{\beta_{min}} \\ &= \frac{73.437 \text{ mA}}{110} \\ &= 0.667 \text{ mA} \end{aligned} \quad (3)$$

$V_{OH \ min}$ dari mikrokontroler = 4.2V, besar R_B adalah:

$$V_{OH \ min} = I_B \times R_B + V_{BE \ sat \ max} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{V_{OH \ min} - V_{BE \ sat \ max}}{I_B} \\ &= \frac{4.2 - 1}{0.667 \times 10^{-3}} \\ &= 4.797 \text{ k}\Omega \end{aligned} \quad (5)$$

Karena nilai tahanan tersebut tidak ada di pasaran, maka diambil nilai terdekat yang lebih kecil dari nilai di atas. Nilai tahanan yang dipakai yaitu sebesar 4.7 kΩ.

Perhitungan I_B adalah sebagai berikut:

$$I_B = \frac{V_{OH \ min} - V_{BE \ sat \ max}}{R_B} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4.2 - 1}{4700} \\
 &= 0.685106 \text{ mA} \\
 &= \frac{I_C}{\beta_{min}}
 \end{aligned}$$

$$I_C = 74,89 \text{ mA} \quad (7)$$

B. Rangkaian Driver Sensor Magnet

Rangkaian pengondisi sinyal ini berfungsi mengubah sinyal dari tegangan keluaran sensor magnet menjadi bentuk pulsa sinyal 0 dan 1. Karena pada saat fluksi magnet yang terdeteksi oleh sensor magnet kosong maupun fluksi magnet yang terdeteksi maksimal, tegangan keluaran sensor magnet tidak dalam ambang ideal nilai tegangan logika 0 dan 1 mikrokontroler. Rangkaian tersebut terdiri dari komparator dan buffer.



Gambar 5. Diagram blok rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu

Komparator berfungsi untuk membandingkan tegangan keluaran sensor magnet dengan tegangan saat sensor magnet dalam keadaan kosong (tidak ada fluksi magnet). Masukkan dari komparator adalah tegangan keluaran sensor magnet dan tegangan referensi sebesar 2.5 V. Keluaran tegangan komparator akan sebesar 5V pada saat terdapat fluksi pada sensor magnet dan 0V pada saat tidak terdapat fluksi pada sensor magnet.

Tegangan saat fluksi maksimal = 4 V

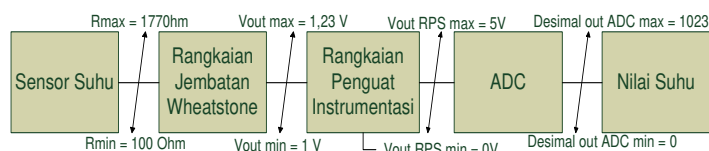
Tegangan saat fluksi kosong = 2.5 V

Dalam perancangan ini *buffer* yang digunakan adalah IC 7414 yaitu IC *Schmit Trigger Inverting*. IC ini akan membuat keluaran tegangan pada saat sinyal logika *HIGH* adalah 5, dan keluaran tegangan saat sinyal logika *LOW* adalah 0V [8].

C. Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Suhu

Perancangan rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu dilakukan sesuai dengan diagram blok pada Gambar 6. Bagian pertama rangkaian pengondisi sinyal adalah rangkaian jembatan *wheatstone* yang berguna untuk mengubah fluktuasi resistansi menjadi fluktuasi tegangan [9]. Rangkaian jembatan *wheatstone* terdiri dari tiga buah resistor 100 ohm, resistor pembatas sebesar 150 ohm yang digunakan agar arus yang mengalir pada PT 100 tidak melebihi 10 mA, dan sebuah sensor PT100.

Bagian kedua dari rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu adalah rangkaian penguat instrumentasi. Rangkaian ini berfungsi untuk mengkonversi besar tegangan keluaran rangkaian jembatan *wheatstone* menjadi sesuai dengan permintaan tegangan masukan ADC, yaitu 0-5V untuk ADC bertegangan referensi 5V. Penguat instrumentasi yang digunakan pada perancangan ini adalah IC AD 620.



Gambar 6. Diagram blok sensor suhu

D. Perancangan Sistem Kontrol Logika Fuzzy

Perancangan logika *Fuzzy* dilakukan dengan cara:

1. Mengambil data fluida yang akan digunakan untuk membuat batasan *membership function*.
2. Mengambil data karakteristik fluida.
3. Menghitung besar kesalahan relatif data seperti tertera pada Tabel I.

TABEL I
PENGHITUNGAN KESALAHAN RELATIF DATA

Jenis Kekentalan	Encer	Sedang	Kental Sekali
Data 1	121	1107	2929
Data 2	125	1114	2908
Data 3	125	1061	2812
Data 4	129	969	2948
Data 5	130	980	3096
Mean	126	1046.2	2938.6
kesalahan relatif	0.361	6.8656	10.23708943
Nilai Terpakai	126.4	1053.1	2,948.837089
Pembulatan	126	1053	2949

4. Memperkirakan fungsi karakteristik perubahan fluida terhadap perubahan kekentalan menggunakan regresi kuadratik. Perhitungan regresi kuadratik tertera pada Tabel II.

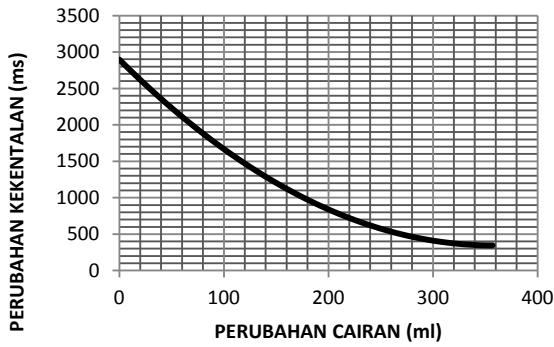
TABEL II
PERKIRAAN FUNGSI KARAKTERISTIK PERUBAHAN FLUIDA

i	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Zigma
xi	0	120	300	420	840
yi	2949	1345	513	333	5140
xiyi	0	161400	153900	139860	455160
xi^2	0	14400	90000	176400	280800
xi^3	0	1728000	2.7 x 10 ⁷	74088000	102816000
xi^4	0	207360000	8.1 x 10 ⁹	31116960000	39424320000
xi^2yi	0	19368000	46170000	58741200	124279200

Dari hasil perhitungan didapatkan fungsi :

$$y = 0.0198 x^2 - 14,29 x + 2896.655 \quad (8)$$

Gambar 7 menunjukkan grafik respon yang diambil berdasarkan fungsi pada Persamaan 8.



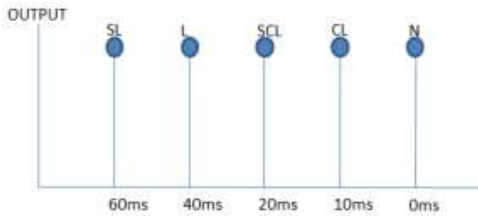
Gambar 7. Grafik respon berdasarkan fungsi pada persamaan

5. Menentukan nilai-nilai batas *membership function*.
6. Menentukan *rule fuzzy* serta menentukan inferensinya.

TABEL III
RULE FUZZY

Eror	Kekentalan		
	Encer	Sedang	Kental
PB	N	N	N
PS	N	N	N
Z	N	N	N
NS	L	SCL	CL
NB	SL	L	SCL

Tabel III adalah tabel *rule fuzzy* dimana N adalah *None* atau tidak melakukan apa-apa, L adalah CL adalah cenderung lambat, SCL adalah sangat cenderung lambat, L adalah lambat, dan SL adalah sangat lambat.



Gambar 8. Grafik keluaran sinyal kontrol

Gambar 8 adalah grafik keluaran sinyal kontrol untuk setiap parameter yang terdapat pada *rule fuzzy*.

7. Menyusun program yang akan digunakan sebagai program kontroler pada mikrokontroler.

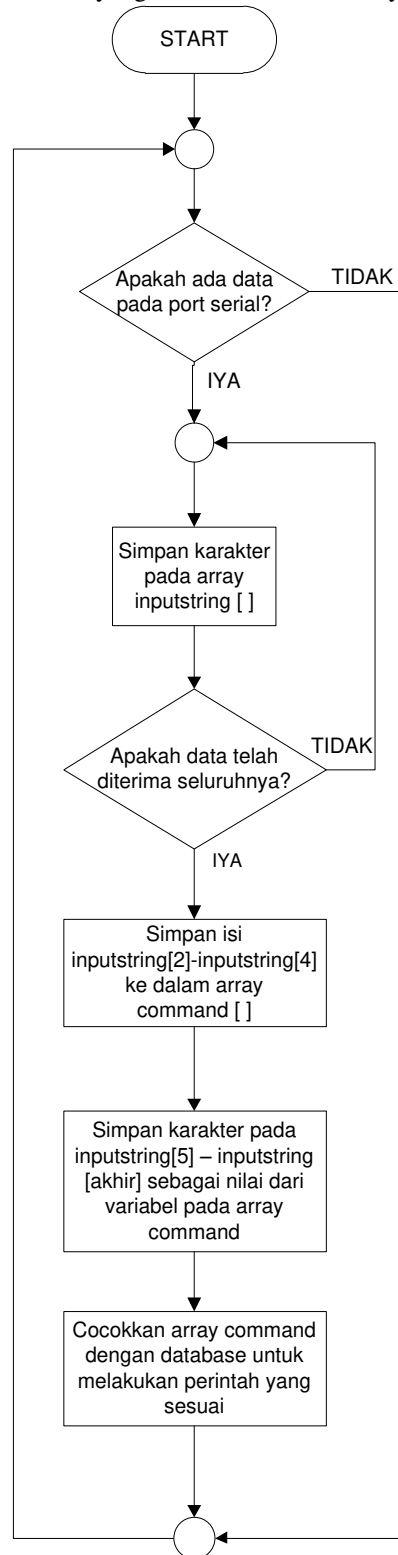
E. Perancangan Program Input dan Output Data pada Mikrokontroler Melalui Komputer

Perancangan program penerimaan dan pengiriman data dari komputer ke mikrokontroler ditunjukkan oleh Gambar 9 yaitu gambar diagram alir penyimpanan data.

Proses penerimaan dan pengiriman data ke mikrokontroler dibagi menjadi tiga bagian yaitu proses penyimpanan data oleh mikrokontroler, pemilahan data, dan eksekusi perintah.

Penyimpanan data dilakukan pada *array inputstring*. Data yang telah dikirimkan pada mikrokontroler disimpan pada *array* tersebut satu persatu. Untuk setiap satu karakter data disimpan pada satu indeks *array*.

Pemilahan data dilakukan untuk memisahkan dua macam jenis data yaitu kode perintah dan nilai variabel. Eksekusi data dilakukan setelah kode dibandingkan dengan *database* yang telah dibuat sebelumnya.



Gambar 9. Diagram alir perancangan program *input* dan *output* data pada mikrokontroler melalui komputer

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pengujian ini dilakukan terhadap rangkaian *driver relay*, sensor magnet beserta *drivernya*, sensor suhu beserta *drivernya*, serta pengujian sistem secara keseluruhan.

A. Pengujian Driver Relay

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian driver *relay* dapat bekerja dengan baik. Rangkaian bekerja dengan baik jika *relay* aktif saat diberi logika 1 oleh mikrokontroler dan tidak aktif jika diberi logika 0. Hasil pengujian *driver relay* ditunjukkan pada tabel 4.

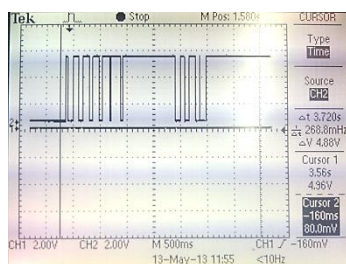
TABEL IV
HASIL PENGUJIAN DRIVER RELAY

Relay	Logika	Status Relay
Pompa Tinta	0	Tidak aktif
	1	Aktif
Pompa Air	0	Tidak aktif
	1	Aktif
Pompa Pendingin	0	Tidak aktif
	1	Aktif

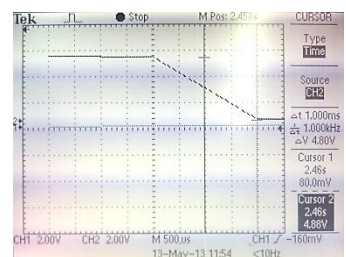
Dari Tabel IV, dapat dilihat bahwa *relay* pompa tinta, pompa air, dan pompa pendingin aktif jika *port* mikrokontroler menghasilkan logika keluaran 1. Sebaliknya, jika *port* mikrokontroler menghasilkan logika keluaran 0, maka *relay* pompa tinta, pompa air, dan pompa pendingin tidak aktif.

B. Pengujian Sensor Magnet dan Driver Sensor Magnet

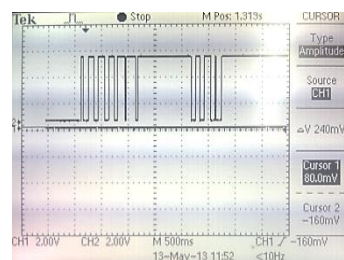
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor magnet dapat bekerja dengan baik dan dapat mendeteksi fluksi magnet yang melintasi dan tidak melintasi sensor magnet tersebut atau tidak, serta dapat menghasilkan tegangan keluaran yang sesuai melalui sinyal status sensor magnet.



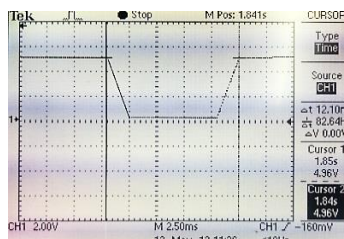
Gambar 10. Hasil pengujian sensor magnet atas



Gambar 11. Hasil pembesaran pengujian sensor magnet atas



Gambar 12. Hasil pengujian sensor magnet bawah



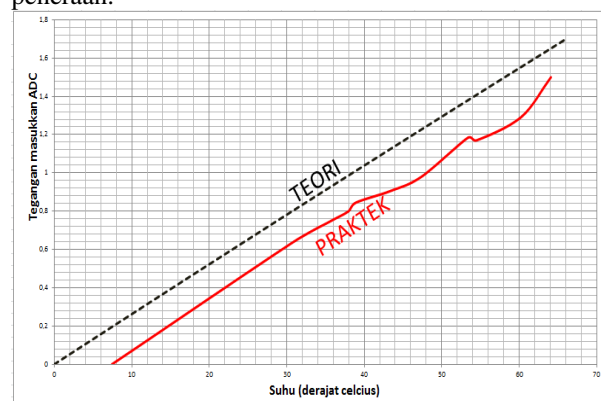
Gambar 13. Hasil pembesaran pengujian sensor magnet bawah

Dari hasil pengujian sensor magnet ditunjukkan pada Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, Gambar 13, diambil kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan keluaran sensor magnet untuk logika *HIGH* adalah 4,88 - 4,96 V.
2. Tegangan keluaran sensor magnet untuk logika *LOW* adalah 80 mV.
3. Besar waktu *delay* yang dibutuhkan untuk perpindahan logika adalah 1 ms.

C. Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian sensor suhu PT 100. Perbandingan antara hasil pengukuran suhu praktek dengan teori ditunjukkan dalam Gambar 14. Berdasarkan Gambar 14 diketahui selisih suhu praktek dengan teori adalah 7.436925128. Adanya selisih yang dapat disebut juga sebagai eror disebabkan karena masalah *self heating*. Untuk mengatasi masalah *self heating*, selisih suhu praktek dengan teori digunakan sebagai konstanta peneraan.



Gambar 14. Grafik Perubahan Tegangan Masukan ADC terhadap Perubahan Suhu Secara Teori dan Praktek

D. Pengujian Sistem Keseluruhan

Prosedur pengujian yang dilakukan untuk system secara keseluruhan adalah sebagai berikut.

1. Merangkai keseluruhan sistem serta memasukkan program ke mikrokontroler. Gambar 14 adalah gambar tampilan *software* Arduino.



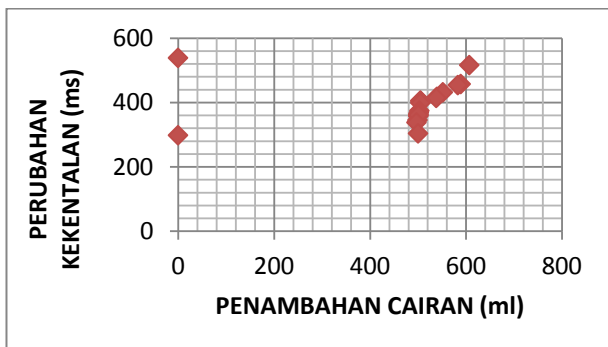
Gambar 14. Tampilan software Arduino

- Menjalankan mode uji dan mode target pada alat serta mengamatinnya.

TABEL VI
HASIL PENGUJIAN ALAT

Urutan ke-	Hasil Pengukuran Viskositas	Lama Pengaktifan Pompa	Mode	Target Viskositas	Keterangan
0	538	0	uji	0	
1	457	589	kontrol	200	
2	516	607	kontrol	200	
3	454	583	kontrol	200	
4	417	540	kontrol	200	
5	431	552	kontrol	300	
6	414	538	kontrol	300	
7	406	505	kontrol	300	
8	404	505	kontrol	300	
9	398	505	kontrol	300	
10	358	501	kontrol	300	
11	374	503	kontrol	300	
12	345	499	kontrol	300	
13	368	502	kontrol	300	
14	363	501	kontrol	300	
15	359	501	kontrol	300	
16	362	501	kontrol	300	
17	361	501	kontrol	300	
18	338	497	kontrol	300	
19	304	500	kontrol	300	
20	298	0	kontrol	300	selesai

Target diubah karena nilai viskositas sebelumnya terlalu kecil



Gambar 15. Grafik perubahan besar kekentalan terhadap waktu penambahan cairan

Grafik hasil pengujian alat ditunjukkan dalam Gambar 15. Respon hasil pengujian alat keseluruhan dapat di lihat dari data hasil percobaan Tabel VI yang berisi data aktivasi *fuzzy* dan hasil kekentalannya. Munculnya kesalahan perhitungan baik dalam kekentalan maupun hitungan *fuzzy* disebabkan oleh kekentalan yang kurang merata pada zat uji. Faktor lain yaitu bentuk indera sensor magnet yang selimut ruangnya sedikit bergesekan dengan selang uji. Disamping itu bentuk mekanik alat uji yang terbuat dari kayu mengakibatkan adanya *noise* getaran pada saat-saat tertentu.

V. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Dari perancangan dan pembuatan sistem pengaturan kekentalan tinta berbasis kontrol logika *fuzzy* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Kekentalan yang dapat diuji pada alat ukur tersebut mempunyai range yang cukup lebar yaitu antara 100 ms sampai 3000 ms dengan resolusi yang cukup teliti yaitu 1 ms.
- Alat pengukur tersebut dapat dikembangkan untuk pengukuran besaran kekentalan zat lain sehingga nantinya pengukuran kekentalan zat akan menjadi lebih mudah, akurat, efektif, dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Madji, A. (2011, November 18). *Industri Percetakan Tumbuh 5,3%*. <http://www.suarapembaruan.com/ekonomidanbisnis/industri-percetakan-tumbuh-53-/13805>. Diakses tanggal 15 April 2013.

[2] A Fennelly, S. (2013). *Ratiometric, Linear Hall-Effect Sensors*. <http://www.allegromicro.com/SearchResults.aspx?q=UGN%203503U>. Diakses tanggal 25 Mei 2013.

[3] Suryono, Agus Riyanti, Jatmiko Endro Suseno, 2009. Karakterisasi Sensor Magnetik Efek Hall UGN3503 Terhadap Sumber Magnet dan Implementasinya pada Pengukuran Massa. *Berkala Fisika Vol 12.*, No.1, Januari 2009

[4] Baker, B. C. 2008. *Precision Temperature-Sensing With RTD Circuits*. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00687c.pdf>. Diakses tanggal 2 Mei 2013.

[5] Arduino. 2013. *Arduino UNO*. docs-asia.electrocomponents.com/webdocs/0e8b/0900766b80e8ba21.pdf. Diakses tanggal 1 Juli 2013.

[6] Yurianto, Yudi. 2010. *Sistem Alat Pengatur Kekentalan Tinta Percetakan Berbasis Mikrokontroler Atmega8535*. Malang: Skripsi Jurusan Teknik Elektro FT-UB

[7] Atmel. (2010). *ATMega 328 Datasheet*. San Jose: Atmel Corporation

[8] Incorporated, T. I. (2002). *Hex Schmitt-Trigger Inverters*. hibp.ecse.rpi.edu/~connor/education/EISpecs/sn7414.pdf. Diakses tanggal 30 Juni 2013.

[9] Hoffmann, K. (n.d.). *Applying the Wheatstone Bridge Circuit*. www.hbm.com/pl/pdf/w1569.pdf. Diakses tanggal 1 Juli 2013.