

## PENGEMBANGAN SISTEM KENDALI OTOMATIS PROSES RECHARGING TINTA SPIDOL WHITEBOARD

M. Khairudin<sup>1</sup>, R.N. Ridho<sup>2</sup>

Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, FT, Universitas Negeri Yogyakarta

Masuk: 9 Juni 2015, revisi masuk : 2 Juli 2015, diterima: 10 Agustus 2015

### ABSTRACT

*Control system on the recycle process of markers ink aims to control charging ink on the recycle process of whiteboard markers ink. The process of opening the lid will automatically proceed with the charging process of whiteboard ink. The objectives of this tool are to control the time of ink charging using the solenoid. Solenoid control using the minimum system of microcontroller. The hardware consists of a circuit of microcontroller of ATmega16, driver of solenoid valve using L298 IC, push button, power supply and mechanics for opening and closing markers. It is expected this system can help the process of ink recharging automatically on the whiteboard markers. The performances of lever cap on the recycle process of markers ink show proper performance. The system can fill ink to the markers accordance with the planning. The volume of the markers ink with capacities of up to 25% with the ink discharge of 0,003 liters / second. The system has an average of percentage error of less than 2% of the measured voltage.*

**Keywords:** *automatically, markers ink, recharging.*

### INTISARI

Sistem kendali pada proses *recycle* tinta spidol whiteboard bertujuan untuk melakukan kendali pengisian tinta pada proses *recycle* tinta spidol whiteboard. Proses pembukaan tutup secara otomatis dilanjutkan dengan proses pengisian ulang (*recycle*) tinta spidol whiteboard. Tujuan alat ini untuk mengendalikan waktu pengisian tinta menggunakan solenoid. Pengendalian solenoid menggunakan rangkaian mikrokontroler. Perangkat keras sistem terdiri atas rangkaian mikrokontroler ATmega16, driver solenoid valve menggunakan IC L298, dan push button, catu daya dan mekanik untuk pembuka dan penutup spidol. Dengan demikian diharapkan sistem ini dapat membantu proses pengisian spidol secara otomatis. Hasil unjuk kerja sistem pengungkit tutup pada proses *recycle* tinta spidol whiteboard menunjukkan kinerja yang tepat. Sistem mengisi tinta ke spidol sesuai dengan perencanaan. Isi tinta pada spidol dengan kapasitas mencapai 25% dengan debit tinta sebesar 0,003 liter/detik. Alat ini memiliki rata-rata presentase error kurang dari 2% untuk tegangan yang diukur.

**Kata kunci:** otomatis, pengisian, tinta spidol.

### PENDAHULUAN

Proses kegiatan belajar mengajar (KBM) tingkat sekolah dasar hingga universitas sudah mengalami perkembangan pesat. Media pendidikan yang digunakan sudah memanfaatkan kemajuan teknologi, mulai menggunakan papan tulis hitam dengan alat tulis kapur hingga layar proyektor. PBM yang dilakukan menggunakan proyektor dengan cara presentasi cukup efektif untuk diterima oleh murid, namun

Kebanyakan pada sekolah - sekolah masih juga digunakan media *white board* dengan alat tulis spidol untuk menerangkan materi - materi tambahan.

Perkembangan teknologi telah terjadi dengan pesat pada Proses belajar mengajar (PBM) tingkat Sekolah Dasar hingga Universitas. Media pendidikan sudah memanfaatkan kemajuan teknologi, dari mulai papan tulis hitam dengan alat tulis kapur hingga *panaboard* untuk menunjang

---

<sup>1</sup>moh\_khairudin@yahoo.com

multimedia [1]. Kontribusi media belajar sangat besar dalam kesuksesan belajar siswa, Piran Wiroatmojo dan Sasonohardjo [2] memaparkan peran penggunaan indera mata dalam belajar mencapai 82%, pendengaran 11%, peraba 3,5%, perasa 2,5% dan penciuman 1%. Oleh karena itu untuk meningkatkan kompetensi siswa diperlukan media *whiteboard* dengan alat tulis spidol untuk memaparkan materi pelajaran. Sunaryo, dkk [3] menyebutkan fungsi media pembelajaran dalam PBM adalah untuk : (1) memperjelas penyajian pesan agar tidak bersifat verbalistik, (2) mengatasi keterbatasan ruang, waktu, dan daya indera, (3) menghilangkan sikap pasif pada subjek belajar, (4) membangkitkan motivasi pada subjek belajar.

Media pembelajaran berupa papan tulis mengalami perkembangan mulai dari papan tulis hitam putih kemudian muncul *whiteboard* dan yang terkini adalah *panaboard* [1]. Dengan media *whiteboard* para pengajar lebih dimudahkan dalam menuliskan materi serta lebih sehat secara ergonomi dibandingkan papan tulis hitam dengan alat tulis kapur yang banyak menghasilkan polusi. Tentunya dengan media *whiteboard* PBM di kelas akan berlangsung jika terdapat alat tulis spidol. Namun alat tulis spidol ini masih memiliki kelemahan yang sampai saat ini menjadikan PBM terganggu, contohnya jika isi tinta dari spidol habis maka spidol harus diganti dengan yang baru atau mengisi ulang tinta secara manual yang memakan waktu. Untuk itu perlu dibuat alat yang dapat mengisi tinta spidol secara otomatis. Dengan begitu pengajar tidak perlu membawa spidol dengan jumlah banyak atau pengajar harus repot menukarkan spidol dengan yang baru.

Berdasarkan masalah tersebut maka pada makalah ini menyajikan desain sistem kendali pengungkit tutup pada proses *recycle* tinta spidol *whiteboard*. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ATmega 16 sebagai pengolah data [4]. ATmega 16 juga sebagai kendali utama dalam melakukan proses pengisian ulang tinta

spidol. Dengan sistem ini diharapkan PBM akan berjalan lebih lancar karena proses *recycle* tinta spidol *whiteboard* dilakukan secara otomatis di ruang kelas.

Proses *Recycle* Tinta Spidol, Pada awal munculnya spidol, proses pengisian ulang tinta belum dapat dilakukan karena desain mekanik spidol dengan tutup belakang masih sulit untuk dibuka kembali. Seiring berkembangnya perekonomian sekarang ini proses *recycle* isi ulang tinta spidol dapat dilakukan. Pada awalnya pengisian ulang tinta dilakukan cara manual. Proses manual ini dengan cara membuka tutup dan menuangkan tinta dengan tangan ke dalam batang spidol. Hal ini tentunya memiliki banyak kesulitan seperti pengisian tinta berlebih melebihi kapasitas yang menyebabkan meluapnya tinta dan membuat kotor. Halangan lain adalah sulitnya memberikan beberapa tetes tinta yang ideal agar tinta tepat penuh.

Proses pengembangan pengisian tinta spidol secara otomatis berbasis dengan mikrokontroler ATmega8535 yang dilengkapi fotodiode sebagai inputan kemudian LCD sebagai penampil jalannya proses pengisian [5]. Namun sistem tersebut belum dilengkapi dengan alat pembuka dan penutup tutup belakang spidol sehingga prosesnya memakan waktu yang cukup lama jika dilakukan secara manual [6].

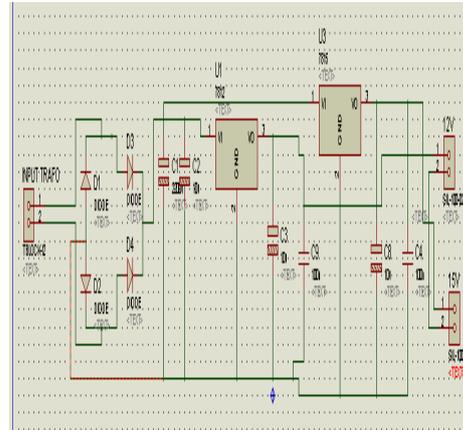
Pada makalah ini telah dirancang sistem kendali pengungkit tutup pada proses *recycle* tinta spidol *whiteboard*. Sistem ini terdiri dari catudaya, penggerak motor DC, driver motor DC, pengolah data mikrokontroler ATmega16, rangkaian saklar dan sistem mekanik. Pada bagian catudaya digunakan untuk mensuplai tegangan DC 12 volt dan 15 volt dengan menggunakan IC regulator IC LM7812 sebagai penyuplai mikrokontroler dan LM7815 sebagai penyuplai driver motor DC. Catudaya teregulasi dapat menghasilkan tegangan keluaran yang nilai tegangannya senantiasa selalu tetap setiap saat sesuai dengan yang diharapkan (Sunomo, 1996) [7].

Bagian penggerak pengungkit tutup pada sistem ini menggunakan motor DC. Motor yang digunakan dengan tegangan kerja 12 volt. Motor DC ini digunakan sebagai aktuator atau penggerak ulir yang membuat besi penjepit maju-mundur. Proses kerja motor DC pada rancangan ini adalah memutar ulir yang terpasang satu poros untuk menggerakkan maju-mundur penjepit dengan selang waktu yang telah di-*setting*. Untuk menghubungkan motor DC dengan sistem pengolah data maka diperlukan driver. Driver motor DC pada sistem ini menggunakan sistem *H-Bridge*. Sistem *H-Bridge* yang dikemas dalam bentuk IC mampu mengendalikan beban-beban induktif seperti relay, solenoid valve, motor DC, dan motor stepper. Dua rangkaian *H-Bridge* di dalam IC dapat digunakan untuk mengatur arah putaran dan kecepatan pada motor (Data sheet L298, 2004) [8]. Pada sistem ini menggunakan driver motor DC dengan *driver* L298. Driver motor DC dengan IC L298 ini digunakan sebagai pengendali arah putaran dan pengendali kecepatan motor DC. Dengan menggunakan rangkaian ini, putaran motor DC dapat diatur arah putarannya, sehingga dapat dijadikan sebagai penggerak maju-mundur besi penjepit tutup spidol dengan media ulir.

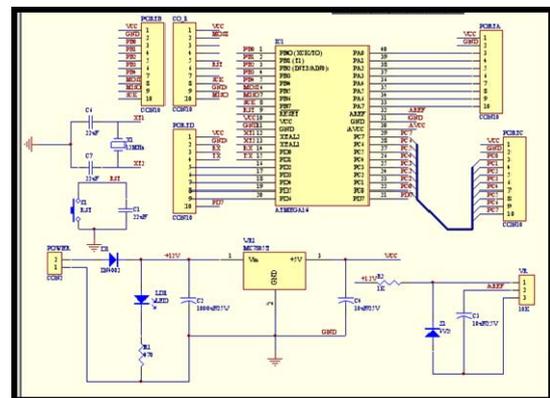
Secara khusus sistem pengisian *recycle* tinta spidol *white board* (bagian pengisian tinta) dibutuhkan peralatan dan bahan yaitu (1) Rangkaian catu daya, (2) Rangkaian sistem minimum ATmega16, (3) Rangkaian *Push Button*, (4) Rangkaian *driver* solenoid valve dengan IC L298, (5) Rangkaian mekanik pengisi tinta. Adapun rangkaian catudaya yang digunakan dapat dilihat seperti pada Gambar 1.

Proses perubahan tegangan 220 menjadi tegangan DC 12 volt untuk mencatu mikrokontroler, dan tegangan keluaran mikrokontroler digunakan bersama dengan tegangan 15 volt untuk mencatu *driver* solenoid valve.

Sedangkan rangkaian sistem minimum yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



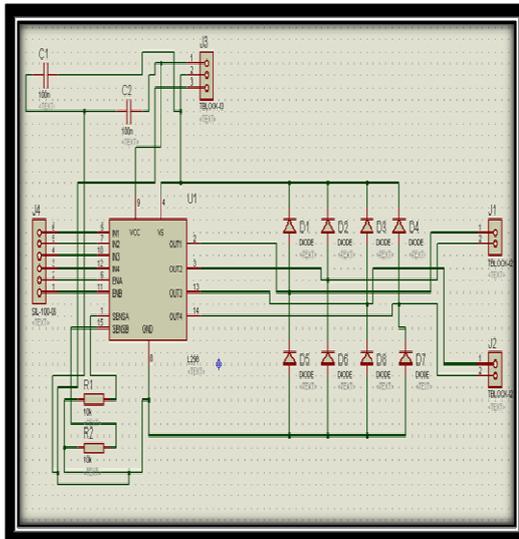
Gambar 1. Rangkaian Catu Daya



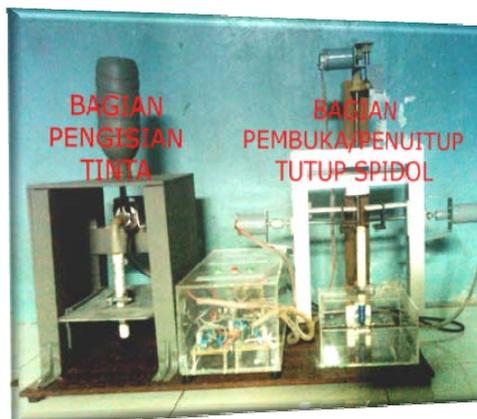
Gambar 2. Rangkaian Sistem Minimum ATmega16

Adapun *driver* solenoid valve menggunakan IC L298 yang mampu menangani beban hingga 4A dengan kondisi paralel outputnya. Rangkaian *driver* seperti terlihat pada Gambar 4 ini karena keterbatasan tegangan *output* mikrokontroler yang tidak mampu mengontrol langsung solenoid valve. *Driver* ini berfungsi untuk mengontrol lama waktu ON solenoid valve.

Mekanik dari bagian pengisi tinta terbuat dari bahan aluminium dan akrilik 5ml serta botol minuman. Bentuk mekanik dirancang dengan panjang 20cm, lebar 20cm dan tinggi 25cm. Terdapat 3 bagian utama yaitu bagian penyangga solenoid valve dengan aluminium, bagian tempat spidol dengan akrilik, dan bagian tanki tinta dengan botol minuman.



Gambar 4. Skema Driver solenoid Valve



Gambar 5. Bentuk Fisik Recycle Tinta

## PEMBAHASAN

Alat pengisian *recycle* tinta spidol *white board* (bagian pengisian tinta) dirancang untuk mempermudah dalam pengisian ulang tinta spidol, menghemat biaya, menjaga kebersihan, dan menghemat waktu. Dengan dibuatnya alat ini diharapkan dapat lebih efektif dan efisien serta cepat dalam melakukan pengisian tinta spidol. Alat ini bekerja dikendalikan menggunakan mikrokontroler ATmega16. Adapun input berasal dari *push button* dan output

akan mengatur solenoid valve untuk mengalirkan tinta.

Alat pengisian *recycle* tinta spidol *white board* yang berbasis mikrokontroler ini terdiri dari dua bagian yaitu bagian pembuka/penutup tutup tinta spidol dan bagian pengisian tinta spidol. Adapun makalah ini fokus pada bagian pengisian tinta spidol, alat ini bekerja dengan dikendalikan oleh ATmega16. Pada bagian pengisian tinta bekerja untuk mengisi tinta ke dalam spidol dengan waktu yang cepat. Pengisian berjalan jika *push button* isi ditekan yang kemudian diproses oleh ATmega16 dan *driver* solenoid yang kemudian menjalankan solenoid valve untuk mengisi tinta.

Pengamatan yang dilakukan pada sistem catu daya menggunakan multimeter digital untuk mengetahui tegangan keluaran dari masing-masing komponen catu daya. Tabel 1 menunjukkan data catu daya 12V dan 15 V DC.

Tabel 1. Spesifikasi Catudaya.

No.	Bagian yang Diukur	Hasil Pengukuran	Presentase Kesalahan
1	Tegangan <i>Input</i> Trafo	224VAC	1.7%
2	Tegangan <i>Output</i> Trafo	17.1VAC	0.58%
3	Tegangan <i>Output</i> Diode ( <i>input</i> regulator)	22.8VDC	0.7%
4	Teg. <i>Output</i> 12 V	11.8VDC	1.6%
5	Teg. <i>Output</i> 12 V	14.9VDC	0.6%

Proses perubahan tegangan AC menjadi tegangan DC menggunakan *diode bridge* sebagai penyearah gelombang penuh. Namun jika menggunakan *diode* saja maka tegangan yang dihasilkan masih berkerut. Sehingga perlu ditambahkan kapasitor sebagai filter dan IC regulator untuk menyetabilkan tegangan. Pengambilan data dilakukan saat catu daya dalam kondisi tidak berbeban. Berdasarkan spesifikasi tegangan *input* trafo yaitu 220V dan tegangan sekunder trafo yang diambil 17V dengan persamaan tegangan keluaran DC adalah

$$V_{dc} = (2/\pi) * (V_{mtrafo} - 2 * V_{dioda}) \quad (1)$$

Secara perhitungan didapatkan  $V_{dc} = 14,42$  V.

Tegangan tersebut adalah tegangan DC dari penyearahan dioda *bridge*, dan tegangan tersebut sebenarnya sudah cukup untuk masukan IC LM 7812. Namun tegangan yang dihasilkan tidaklah rata sehingga perlu ditambahkan kapasitor untuk meratakan tegangan. Penambahan kapasitor juga akan mempengaruhi nilai tegangan keluaran karena proses pengisian dan pengosongan kapasitor. Pengosongan kapasitor yang lambat akan mempertahankan tegangan puncak  $17\sqrt{2}$  V sehingga riak tegangan berkurang. Dikarenakan saat mengambil data kondisi catu daya tidak ada beban maka tegangan riak menjadi 0. Hal ini disebabkan kapasitor tidak membuang muatan (tidak ada arus yang mengalir ke beban).

Tegangan tersebut adalah tegangan *input* untuk IC regulator. Nilai tegangan keluaran tersebut tidak akan menyebabkan rusaknya IC regulator karena berdasarkan tabel pada bab 2 nilai tegangan minimum masukan LM 7812 14.5V dan LM 7815 17.5V. Adapun tegangan maksimum masukan LM 7812 27V dan LM7815 30V. Karena catu daya menggunakan IC LM 7812 dan LM 7815 untuk menyetabilkan tegangan keluaran dari proses penyearahan *diode bridge* ditambah kapasitor yang berarti akan menghasilkan tegangan keluaran sebesar 12V dan 15V karena secara perhitungan tegangan keluaran IC seri 78 dinyatakan dengan dua angka terakhir dari serinya, maka tegangan keluaran dari catu daya adalah 12VDC dan 15VDC.

Catu daya pada alat ini terdapat 2 keluaran tegangan yaitu 12V dan 15V DC. Tegangan ini akan menyuplai sismin mikrokontroler ATmega16 dan *Driver* solenoid valve, catu daya 12V akan menyuplai sismin ATmega16 dimana pada sismin sudah terdapat IC LM7805 yang akan mengubah tegangan 12V menjadi 5V. Hal ini dikarenakan tegangan minimal masukan LM7805 adalah 7,5V sehingga catu daya 12V

dapat menyuplai sismin dengan aman. *Driver* solenoid valve juga membutuhkan tegangan 5V maka tegangan keluaran dari mikrokontroler akan menyuplai *vcc driver*. Sedangkan catu daya 15V digunakan untuk menyuplai tegangan *vs driver* dimana tegangan *vs* nantinya untuk menyuplai solenoid valve.

Berdasarkan hasil pengujian terdapat penyimpangan tegangan DC yang terjadi secara teori dengan tegangan DC pada alat mempunyai nilai rata-rata *error* sebesar -2% sehingga disimpulkan alat dapat berjalan sesuai kerjanya. Tegangan keluaran catu daya adalah sama dengan tegangan keluaran IC regulator bukan tegangan keluaran setelah dioda *bridge*.

Adapun Rangkaian *push button* disambung dengan *ground* dan port A.0, serta dalam program *inputnya* diatur *pull up (pull up internal)* diaktifkan) sehingga akan aktif jika diberi logika 0 dan akan tidak aktif jika diberi logika 1. Tegangan *push button* akan sama dengan tegangan *output* mikrokontroler yaitu 5V DC sesuai dengan spesifikasi ATmega 16.

Hasil pengamatan rangkaian *push button* didapat data yang sesuai karena *push button* dapat bekerja sesuai dengan program yang ditanamkan. Pada tegangan *push button* terdapat nilai *error* rata-rata sebesar -2%, hal ini masih dapat diabaikan dan dirasa aman karena selisihnya hanya 2%.

Tabel 2. Pengujian *Driver* Solenoid Valve

Bagian yang Diukur	Teg	Spek	Kondisi Katup	Presentase Kesalahan
<i>Input</i> IC L298 <i>Vcc</i>	4.9VDC	5VDC	—	2%
<i>Input</i> IC L298 <i>Vs</i>	14.9VDC	15VDC	—	0.6%
<i>Output</i> saat ON	14VDC	14.3VDC	Membuka	2%
<i>Output</i> saat OFF	0VDC	0VDC	Menutup	0%

*Driver* solenoid valve adalah perangkat yang akan mengontrol jalannya proses pengisian tinta. *Driver* ini menggunakan IC L298 yang mampu menangani arus hingga 2A dan membutuhkan tegangan *input* untuk mengaktifkan IC (VCC) 5V serta untuk menyuplai solenoid valve dengan tegangan (VS) 15 V. Berikut hasil pengujian tegangan *driver* terdapat pada Tabel 2, dan Tabel 3 adalah pengujian pada kaki IC L298.

Tabel 3. Pengujian Kaki Pin IC L298

IN 1A	IN 1B	ENB 1	IN 2A	IN 2B	ENB 2	Kondisi Tinta
1	0	1	1	0	1	Mengalir
0	1	1	0	1	1	Mengalir
0	0	1	0	0	1	Tidak mengalir

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan hasilnya sesuai dengan ketentuan, karena data hampir semuanya sesuai dengan perhitungan. Pada Tabel 1 adalah data tegangan dari *driver*, tegangan ini diperoleh dari catu daya 15V dan tegangan *output* mikrokontroler sebesar 5V. Saat melakukan pengamatan catu daya 15V tegangan keluarannya 14.9V dan tegangan *output* pada mikrokontroler 4.9V. sehingga terdapat *error* sebesar 2% untuk catu 5 Vdc dan 0,6% untuk catu 15 Vdc.

Pada tegangan *output driver* seharusnya tegangan saat ON adalah 14.3V karena terpotong tegangan 1 dioda yaitu 0.7V. dan saat pengamatan diperoleh hasil 14V sehingga terdapat *error* 2%.

Untuk Tabel 3 dilakukan uji coba dengan memberi logika *high* atau *low* pada kaki-kaki IC. Pin *enable* berfungsi mengaktifkan *output* sehingga harus diberi logika 1 terus. Karena IC L298 dapat untuk melayani 2 solenoid valve sehingga apabila salah satu *input* diberi logika 1 serta *enable* juga diberi logika 1 maka solenoid akan ON dan akan mengalirkan tinta.

Pada alat ini terdapat 2 bagian yaitu pembuka/penutup tutup belakang spidol dan bagian pengisian tinta, dimana pada bagian pembuka/penutup digunakan 3 motor dc untuk membuka tutup belakang spidol dan pada bagian pengisian tinta digunakan 1 solenoid valve. Untuk itu kami menggunakan *driver* dari IC L298 yang mempunyai 2 *output* sehingga digunakan 2 *driver* IC L298 untuk menangani 3 motor dc dan 1 solenoid valve agar lebih menghemat biaya.

Sesuai pada Tabel 17 *driver* ini memiliki 2 kaki *input* dan 1 kaki *enable* untuk 1 *output*, 2 kaki *input* ini untuk mengubah polaritas sehingga jika disambung ke motor dc dapat mengubah arah putaran motor dan *enable* untuk mengeluarkan PWM (*Pulse Width Modulation*) jika motor ingin diatur kecepatannya. Dari hasil data pada pengujian *driver* dapat dijelaskan bahwa *driver* akan aktif jika salah satu kaki *input* diberi logika 1 atau *high*, karena pada bagian pengisian tinta hanya menggunakan 1 solenoid valve maka hanya diperlukan 1 *ouput driver* untuk mengontrolnya tanpa perlu mengeluarkan PWM (*Pulse Width Modulation*). Namun walau tidak mengatur PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengontrol solenoid valve kaki *enable* harus tetap diberi logika 1 atau *high*.

Penyimpangan tegangan DC terjadi secara teori dengan tegangan pada *driver* sebesar 2% hal tersebut masih dalam taraf wajar karena selisihnya hanya 2%, dan *driver* akan tetap berfungsi. Dapat disimpulkan bahwa untuk mengaktifkan *driver* maka salah satu *input* dan *enable* harus diberi logika 1 agar *driver* dapat digunakan untuk mengontrol solenoid valve.

Adapun pengujian sistem secara keseluruhan difungsikan untuk mengetahui debit rata-rata tinta dan waktu ideal untuk pengisian tinta. Dalam pengujian, alat ditanami program yang berbeda dengan program utama. Program dibuat agar solenoid valve ON dengan waktu 0 detik sampai 4,5 detik dan solenoid valve OFF dengan waktu

10 detik. Berikut data hasil eksperimen pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Alat

Kondisi Solenoid Valve	Lama Waktu (detik)	Volume Tinta (Liter)	Debit Tinta (Liter/detik)
	0	0	0
	0,5	0.0015	0.003
	1	0.003	0.003
	1,5	0.0045	0.003
solenoid valve on	2	0.0062	0.0031
	2,5	0.008	0.0032
	3	0.0089	0.0029
	3,5	0.0102	0.0029
	4	0.012	0.003
	4,5	0.0134	0.00297

Pada hasil eksperimen, terdapat 3 variabel yaitu lama waktu, volume tinta, dan debit tinta. Dengan diketahui lama waktu dan volume tinta maka dapat dicari debit tinta dengan formula

$$\text{Debit} = \text{Volume tinta} / \text{lama waktu} \\ = 0,003 \text{ liter/detik}$$

Spidol akan terisi penuh pada detik ke 4 yaitu isi tinta spidol penuh adalah 12mL. Apabila melebihi 4 detik maka tinta akan meluap atau *over*. Untuk mempermudah pembacaan isi tinta maka volume tinta dibuat dalam persen. Jika dikonversikan kedalam persen maka dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Volume Tinta Spidol

Kondisi Solenoid Valve	Lama Waktu (detik)	Volume Tinta (Liter)
	0	0%
	500	12.5%
	1000	25%
	1500	37.5%
solenoid valve on	2000	51.6%
	2500	66.7%
	3000	74.12%
	3500	85%
	4000	100%
	0	0%

Pada Tabel 5 dapat dijelaskan bahwa dengan waktu 0,5 detik spidol akan terisi sebanyak 12,5%, dan pada waktu 2,5 detik spidol akan terisi tinta sebanyak 66,7% serta akan mencapai 100% dengan waktu 4 detik.

Dari hasil eksperimen untuk unjuk kerja sistem alat diperoleh kesimpulan bahwa isi volume tinta

spidol penuh sebesar 12mL dengan waktu 4 detik. Namun perlu diingat dalam spidol terdapat busa untuk menyimpan tinta yang akan mempengaruhi volume, dan apabila spidol diisi tinta penuh akan membuat spidol tidak dapat langsung digunakan karena jika busa sudah penuh dengan tinta maka sisa tinta yang tidak masuk busa masih banyak dan akan keluar melalui ujung spidol. Untuk itu dalam pengujian sistem alat dilakukan eksperimen sebanyak 10x agar bisa dicari kondisi ideal isi spidol untuk bisa dipakai kembali. Eksperimen dimulai dari detik ke 0 hingga 4,5 detik dengan selisih 0.5 detik.

Pada eksperimen didapat debit rata-rata dari solenoid valve adalah 0.003 Liter/detik. Dan spidol seharusnya diisi tinta (volume ideal) dengan volume 3 - 4,5 miliLiter sehingga setelah spidol diisi ulang tinta dapat digunakan kembali. Untuk mendapatkan volume ideal tersebut dibutuhkan waktu 1 - 1,5 detik, dengan waktu tersebut diharapkan dapat mempercepat proses pengisian tinta spidol *white board*. Hal ini berarti dengan waktu 1,5 detik spidol akan terisi tinta sebesar 37,5%. Jadi kondisi ideal volume tinta isi ulang spidol *white board* pada kisaran 25% - 37,5%.

## KESIMPULAN

Unjuk kinerja sistem kendali pada proses pengisian tinta pada alat recycle tinta spidol whiteboard telah menunjukkan performance sesuai dengan rancangan. Hasil pengukuran tegangan pada masing-masing komponen terdapat nilai *error* rata-rata kurang dari 2%. Unjuk kerja alat pengisian *recycle* tinta spidol *white board* menghasilkan pengisian tinta spidol dengan waktu cepat. Keberhasilan alat ini mampu mengisi tinta hanya dengan waktu pada kisaran 1 - 1,5 detik, dan mengisi tinta penuh dengan waktu 4 detik. Kecepatan solenoid valve mengalirkan tinta sebesar 0,003 liter/detik. Volume tinta isi ulang spidol yang ideal pada rentang isian tinta sebanyak 25% (3mL) atau 37,5% (4,5mL) agar tinta tidak keluar melalui ujung spidol.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Dhany Iswara, (2013), "Perkembangan Papan Tulis," Kompasiana, Edisi 08 Oktober 2013.
- Piran Wiroatmojo dan Sasonohardjo, (2002), "Media Pembelajaran," Jakarta, LAN RI.
- Sunaryo S, Suyanto, Noto W, Suparman, Prapti K, Bada H, (2012), "Media Pembelajaran Teknologi dan Kejuruan," Fakultas Teknik, UNY.
- Andrianto, Heri. (2008). *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATMEGA 16 menggunakan Bahasa C (CodeVision AVR)*. Bandung: Informatika.
- Utomo Budi Prasetyo, (2012), "Alat Pengisi Spidol Otomatis Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535," Proyek Akhir. Universitas Gunadarma.
- M. Khairudin dan R. A. Widakdo. (2014). Sistem Kendali Pengungkit Tutup Pada Proses *Recycle* Tinta Spidol *Whiteboard*. Proceeding Seminar Nasional RAPI UMS, November 2014.
- Sunomo, (1996), "Elektronika II," Yogyakarta : IKIP Yogyakarta Datasheet L298. (2004). IC L298.
- <http://www.tech.dmu.ac.uk/..L298N.pdf>