

SISTEM PENCAMPURAN CAT MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER DENGAN INTERFACE PC

Yoseph Evana¹, Fany Indriaty², Hugeng³

¹Jurusan Teknik Elektro
Universitas Swasta
Jakarta 11440

²Jurusan Teknik Elektro
Universitas Tarumanagara
Jakarta 11440
fany_indriaty@yahoo.com

³Jurusan Teknik Elektro
Universitas Trisakti
Jakarta 11440

ABSTRACT

The design of automatic system paint mixer is design to make process of mixing easier, it is depend on colour input and colour volume from user which using Personal Computer. The design is make for mixing the paint in short time and have accuracy in the result colour and in the operational do not need an expert who understand how to mix paint. This device is using microcontroller which is controlling the solenoid valve, stand mixer, and any other support hardware. Besides that, the device is using colour sensor to check the result is match with input from user or not, if not match then the microcontroller will re-calibrate the data from colour sensor.

Keywords: Automatic system, Paint mixer, Mixing paint.

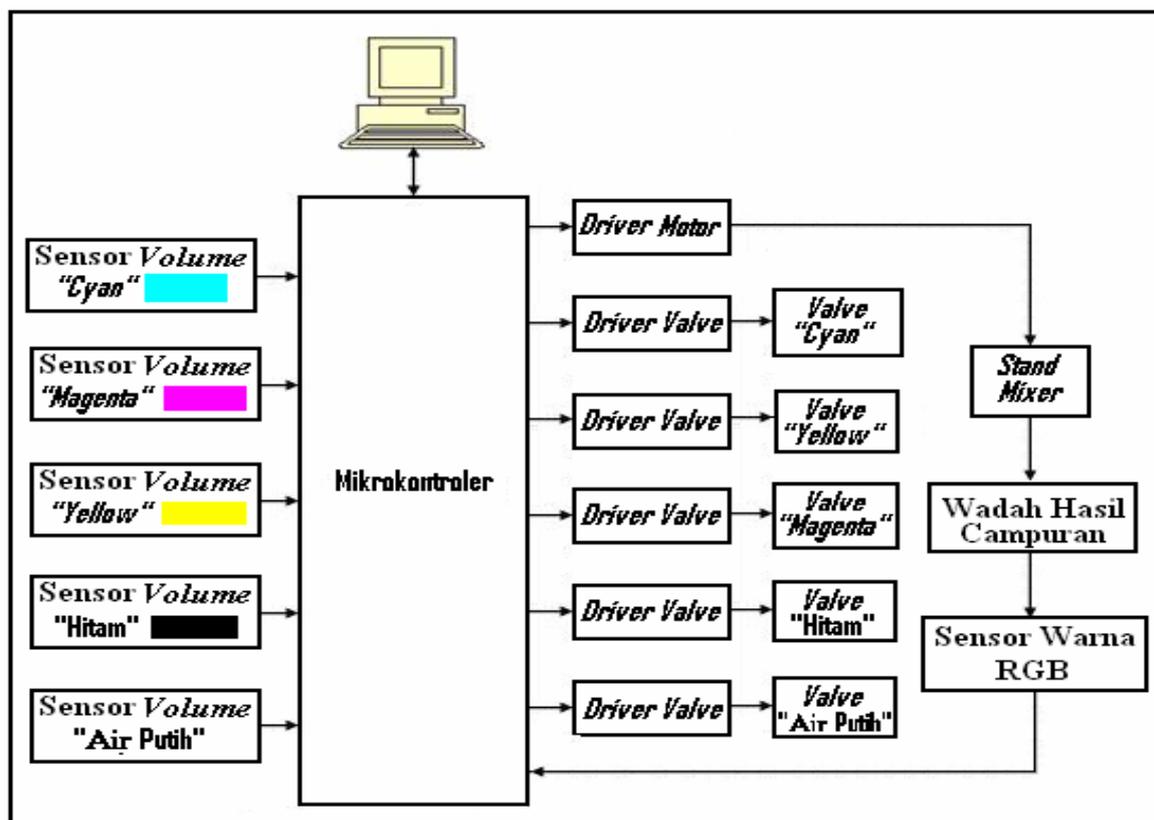
PENDAHULUAN

Dewasa ini penggunaan warna cat pada beberapa bidang, antara lain dibidang seni lukis, perbengkelan dan pertukangan masih sangat tergantung oleh standar warna yang tersedia di pasaran. Kebutuhan akan warna yang beragam terus meningkat, sedangkan ragam warna yang ada di pasaran masih sangat minim dan masih menggunakan standar warna yang sangat mendasar. Pada umumnya pencampuran cat dilakukan oleh para ahli yang melakukan pengetesan terhadap bahan baku (zat kimia) untuk menghasilkan warna yang diinginkan, meneliti ketahanan cat yang dibuat dan sebagainya. Setelah hasil dari penelitian dan pengujian selesai baru dilakukan pencampuran bahan cat tersebut,

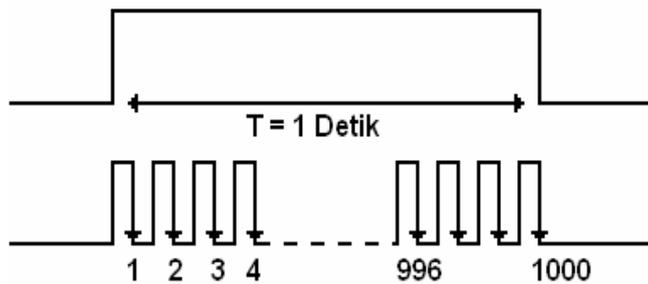
maka untuk menghasilkan satu jenis warna memerlukan waktu yang lama, tetapi memiliki keakuratan dalam hal gradasi warna yang dihasilkannya karena dilakukan oleh para ahli.

Atas dasar pemikiran tersebut, maka muncullah ide untuk merancang suatu sistem yang dapat memudahkan proses pencampuran warna, yaitu dengan dioperasikan secara otomatis berdasarkan *input* warna dan *volume* warna dari *user*, mempergunakan *Personal Computer*. Sistem ini diharapkan dapat membuat warna dalam waktu yang cepat serta memiliki ketepatan warna dalam mencampur dan cara pengoperasiannya tidak membutuhkan orang yang biasa mencampur cat.

Banyak kekurangan yang terjadi pada waktu melakukan



■ Gambar 1. Diagram Blok Sistem



■ Gambar 2. Ilustrasi Menghitung Frekuensi [6]

pencampuran cat seperti yang biasa dilakukan pada took cat. Disini pencampuran cat dilakukan secara manual oleh pakar/ahli yang telah sangat sering melakukan hal tersebut. Salah satu kekurangan adalah adanya kemungkinan kesalahan gradasi warna, karena untuk pengukuran awalnya menggunakan wadah khusus dengan ukuran yang bermacam-macam. Selain itu, jumlah volume cat juga ada kemungkinan berkurang, karena proses pengolahan dengan cara manual tersebut.

SISTEM PENCAMPURAN CAT OTOMATIS

Sistem pencampuran cat berbasis mikrokontroler dengan *interface Personal Computer* ini digunakan untuk memudahkan pencampuran warna, yang dioperasikan secara otomatis dengan *input* warna dan *volume* warna yang diinginkan dari *user*, dengan menggunakan *Personal Computer*. Sistem ini tersusun dari dua bagian, yaitu bagian *hardware* dan bagian *software*. Bagian *hardware*-nya difokuskan untuk melakukan pencampuran cat, sedangkan bagian *software* diperlukan untuk mengendalikan kerja mikrokontroler dan komputer PC. Perangkat keras yang digunakan untuk mengeluarkan aliran warna dasar keluar ke wadah hasil pencampuran adalah keran (*valve*). Oleh karena warna dasar yang digunakan untuk pencampuran ada 5, maka dibutuhkan 5 buah keran, masing-masing untuk mengalirkan tiap warna dasar cat dari wadah penampungnya. Untuk menggerakkan pengaduk/pencampur cat digunakan motor sebagai pengganti tangan manusia, sedangkan untuk bagian pengaduknya sendiri digunakan *mixer* yang dijual bebas untuk mengaduk adonan kue. Baik keran maupun motor membutuhkan *driver* berupa *relay* yang berfungsi untuk mengaktifkan dan menonaktifkan perangkat keras tersebut. Hasil pencampuran warna tersebut akan diperiksa kembali beserta dengan jumlah (*volume*) yang dihasilkan, oleh karena itu sistem ini menggunakan sensor warna dan sensor *volume* sebagai *feedback*. Data dari sensor warna akan dikirim ke mikrokontroler untuk kemudian dikirim ke *Personal Computer*.

Alat pencampur cat ini menggunakan warna *subtractif* primer. Warna *subtractif* tersebut, adalah *cyan*, *magenta* dan *yellow*, selain ketiga warna tersebut juga digunakan warna hitam dan putih, dikarenakan warna hitam dan putih tidak dapat dibentuk dari ketiga warna *subtractif*

primer tersebut. Secara keseluruhan diagram blok sistem pencampuran cat berbasis mikrokontroler dengan *interface personal computer* ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Untuk menyuplai daya ke semua rangkaian diperlukan sumber tegangan searah (DC), karena semua rangkaian yang digunakan membutuhkan sumber tegangan DC. Untuk itu maka diperlukan satu catu daya yang dapat digunakan untuk menyuplai daya ke semua rangkaian yang digunakan pada sistem. Catu daya yang digunakan adalah rangkaian catu daya yang dapat menyuplai sumber tegangan DC sebesar +5V dan +12V.

Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler yang sudah terintegrasi dengan ADC didalamnya. ADC ini digunakan untuk mengubah bentuk sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor *volume (Spectrol)*. Tipe mikrokontroler yang digunakan adalah ATMEGA 8535, karena mikrokontroler jenis ini mempunyai 8 buah ADC 10 bit yang terintegrasi di dalam rangkaian internalnya [6]. Komponen ini sendiri digunakan untuk mengatur kerja dari *valve* dan menerima data dari sensor warna (*spectrol*) yang kemudian dikirimkan ke komputer PC untuk diproses.

Alat pencampur warna ini menggunakan dua *driver* yang masing-masing memiliki fungsi dan tugas sendiri-sendiri, yaitu *driver* yang mengaktifkan dan menonaktifkan *solenoid valve*, dan *driver* yang menghidupkan dan mematikan motor *stand mixer*. Namun kedua *driver* ini memiliki spesifikasi dan penggunaan komponen yang sama, yaitu *relay*. *Relay* adalah alat elektromagnetik yang digunakan dan dioperasikan sebagai saklar (*switch*). *Solenoid valve* yang digunakan adalah *solenoid valve* dengan tegangan 220 volt AC. *Seleoid valve* digunakan sebagai alat untuk mengalirkan cat secara otomatis dengan pengontrolan dilakukan oleh mikrokontroler.

Untuk menghubungkan alat dengan PC digunakan *serial port RS232*, karena pada alat ini tidak membutuhkan banyak kabel dan kabel yang panjang. *Standard RS232* mempunyai level yang berbeda dengan format data digital TTL yang dikeluarkan dan diterima oleh mikrokontroler [2], oleh sebab itu dibutuhkan suatu rangkaian konverter yang akan menyesuaikan jenis data dari serial ke TTL dan sebaliknya.

Sensor Warna pada sistem ini digunakan untuk memeriksa hasil warna pencampuran terhadap warna dari *user* yang terdapat pada PC. Sensor warna yang digunakan adalah DCLI-230 (*Delta Color Interface 230*), yang dikeluarkan oleh *Delta Electronic* yang memiliki tingkat ketelitian sampai dengan 98%. Sensor warna ini mampu membaca kadar RGB (*Red, Green, Blue*) dalam warna suatu obyek. *Output* dari modul ini berupa sinyal persegi dengan frekuensi yang sebanding dengan komponen warna yang diukur [7]. Frekuensi dapat dicari dengan membuat sebuah *timer* berperiode 1 detik, dan selama periode itu dihitung berapa kali terjadi gelombang penuh. Ilustrasi perhitungan frekuensi dapat dilihat pada Gambar 2.



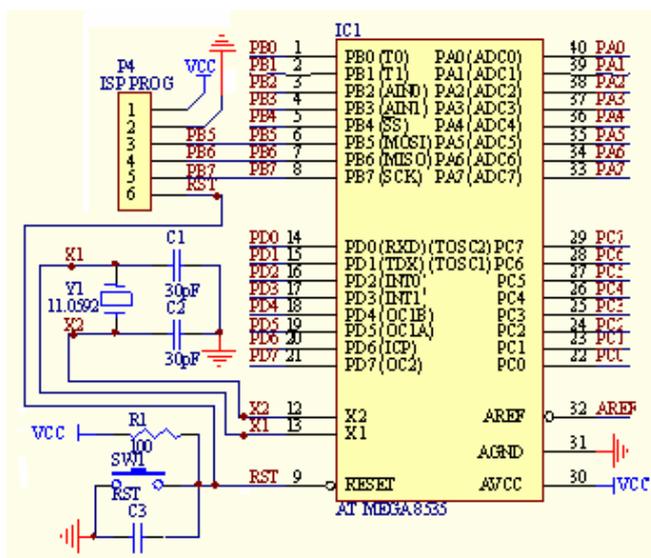
■ Gambar 3. Spectrol

Sensor *volume* yang digunakan pada sistem ini adalah *spectrol*. *Spectrol* merupakan komponen jenis *potentiomultitune*, Pemilihan tipe komponen ini dikarenakan pada *spectrol* memiliki banyak putaran dengan selisih tegangan yang lebih sedikit. *Spectrol* diletakan pada tiap-tiap wadah warna dasar. Penggunaan *spectrol* pada perancangan alat ini berguna untuk menentukan atau mengatur jumlah *volume* warna dasar yang akan keluar. Selain itu *spectrol* menjadi *input* mikrokontroler. Bentuk *spectrol* dapat dilihat pada Gambar 3.

Personal Computer akan digunakan untuk memasukkan *input* warna dan *input volume* yang diinginkan dari *user* serta untuk menampilkan pilihan warna, warna-warna dasar yang diperlukan, dan kekurangan warna dasar setelah data dari sensor warna dikirim kembali ke PC. Program PC untuk pengontrolan dan interface akan dirancang dengan menggunakan *Microsoft Visual Basic*.

DESAIN SISTEM

Fungsi dari rangkaian catu daya yaitu untuk menurunkan tegangan PLN dari AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*) yang selanjutnya digunakan untuk memberikan suplai tegangan bagi seluruh rangkaian



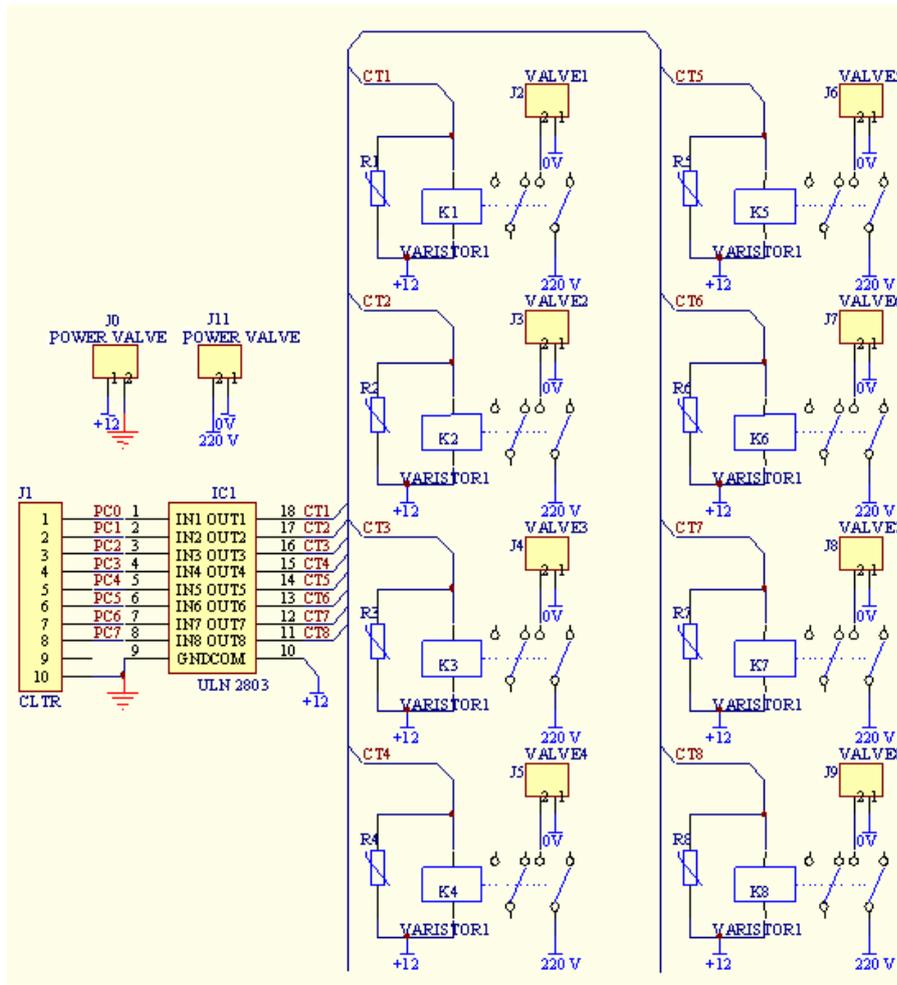
■ Gambar 4. Skematik Rangkaian Mikrokontroler

pada sistem. Tegangan DC yang dibutuhkan oleh rangkaian adalah sebesar +5V, dan +12V. Rangkaian catu daya ini menggunakan transformator *step down* yang menurunkan tegangan AC 220 Volt menjadi tegangan AC yang lebih rendah. Transformator yang digunakan sanggup mengeluarkan arus maksimum sebesar 2A. Tegangan AC keluaran dari transformator ini lalu disearahkan menjadi tegangan DC menggunakan 4 buah *dioda*. Tegangan DC keluaran dari keempat *dioda* lalu diratakan tegangan kerutnya (*ripple*) menggunakan kapasitor sebesar 4700µF/25V dan 3300µF/25V. Untuk mendapatkan tegangan DC yang stabil digunakan IC regulator tegangan dari keluarga seri LM78XX buatan *National Semiconductor*. IC regulator ini tersedia dalam beragam tegangan keluaran dan sanggup mengeluarkan arus maksimum sebesar 1,5A jika diberi pendinginan yang memadai. IC regulator yang digunakan sebanyak dua buah yaitu: LM7805 (+5VDC), dan LM7812 (+12VDC).

Rangkaian catu daya ini menggunakan penguat arus transistor NPN tipe 3055, yang fungsinya menyediakan kapasitas arus sebesar 2A. Dengan besarnya kapasitas arus transistor 3055 dan ditambah dari transformator cukup untuk menahan beban arus pada perancangan alat ini, sehingga masalah tegangan turun dapat dihindari. Setelah melalui penguatan arus dan diregulasi oleh IC regulator, kemudian *output* tegangan tersebut difilter menggunakan kapasitor elektrolit 100nF dengan tujuan untuk menindas tegangan kerut yang masih tersisa, sehingga diperoleh tegangan DC keluaran yang benar-benar rata dan stabil.

Sebagai bagian pengendali sistem digunakan mikrokontroler ATMEGA 8535. PC memberikan *input* pada mikrokontroler melalui port PD0 (RXD). *Input* dari PC berupa warna yang diinginkan, dan data yang diterima oleh mikrokontroler berupa *volume* warna-warna dasar yang dibutuhkan untuk mencampur sesuai dengan *input* dari PC dan *volume* warna yang diinginkan. *Input* dari PC akan memberikan logika *high* pada port PC0 – PC7 secara bergantian, sesuai dengan warna-warna dasar yang dibutuhkan, dan berlogika *low* apabila data yang diterima oleh mikrokontroler telah diselesaikan. Port PC0 – PC7 dihubungkan dengan IC (*Integrated Circuit*) 4N28. IC 4N28 berfungsi untuk memisahkan sistem, yaitu antara sistem mikrokontroler dengan sistem *solenoid valve*. Kegunaan dari pemisahan sistem ini, yaitu untuk menghindari kerusakan pada sistem mikrokontroler, karena pada sistem *valve* menggunakan tegangan AC sebesar 220 volt. Logika *high* pada IC 4N28 akan diumpangkan kepada ULN2803 guna menghasilkan arus yang lebih besar untuk menyalakan *relay*.

Rangkaian mikrokontroler pada alat ini juga digunakan sebagai pengolahan data yang masuk melalui port PA0 – PA4, yaitu komponen *spectrol*. Data yang keluar dari *spectrol*, berupa data analog. Data analog tersebut dikonversi ke dalam biner oleh mikrokontroler, karena pada mikrokontroler Atmega 8535 telah memiliki ADC pada *internal* mikrokontroler Atmega 8535. Pin *reset* haruslah dikontrol sedemikian rupa sehingga mikrokontroler langsung di-*reset* sesaat setelah catu daya diberikan. Untuk keperluan



■ Gambar 5. Rangkaian Relay

inih dipasang sebuah kombinasi RC yang me-reset mikrokontroler sesaat setelah diaktifkan. Kapasitor 30 pF digunakan untuk menjamin bahwa kristal beresilasi dengan segera setelah catu daya diberikan. Clock yang digunakan berupa kristal dengan ukuran 11,0592 MHz. Lebih lengkap skematik rangkaian mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 4.

Tahap awal program pada mikrokontroler dimulai dari inisialisasi pada tiap port yang kemudian diteruskan pada proses pembacaan input warna dan volume warna. Jika ada input data yang masuk, maka program akan mengaktifkan relay valve, jika warna dasar yang dikeluarkan sudah sesuai maka mikrokontroler mengaktifkan relay motor, jika tidak sesuai maka relay valve masih dalam keadaan terbuka. Perhitungan jumlah warna yang keluar, pada mikrokontroler dapat dilihat dibawah ini:

- Jumlah data 1 maka N = 4
- Jumlah data 2 maka N = 2
- Jumlah data 3 maka N = 1.33
- Jumlah data 4 maka N = 1

Keterangan:

Jumlah data = Jumlah warna dasar yang dibutuhkan.
 N = faktor pengali volume dengan satuan mililiter.

Contoh:

Misalkan data dari Personal Computer sebagai berikut:

- ◆ Cyan = 39
- ◆ Magenta = 51
- Memiliki jumlah data 2, data dari cyan dan magenta
- Maka Warna cyan yang keluar
 $39 \times N \rightarrow 39 \times 2 = 78$
- Maka Air Putih untuk cyan yang keluar
 $100 - Cyan \rightarrow 100 - 39 = 61$
 Jadi $61 \times 2 = 122$
- Maka Warna Magenta yang keluar
 $51 \times N \rightarrow 51 \times 2 = 102$
- Maka Air Putih untuk magenta yang keluar
 $100 - Magenta \rightarrow 100 - 51 = 49$
 Jadi $49 \times 2 = 98$
 Jadi warna yang keluar, yaitu: cyan = 78, magenta = 102, air putih = $122 + 98 = 220$, total keseluruhannya, adalah 400 ml.

Mikrokontroler akan mengambil data dari sensor warna, setelah motor berhenti bekerja. Data yang diterima oleh mikrokontroler masih dalam format R,G,B, Kemudian mikrokontroler mengirim data R,G,B tersebut ke Personal Computer. Data R,G,B yang diterima Personal Computer akan dikonversi ke format C,M,Y,K. Mikrokontroler akan mengkalibrasi ulang jika kadar C,M,Y,K dari sensor warna tidak sesuai dengan kadar C,M,Y,K pada PC.

Seperti telah dikemukakan sebelumnya, relay digunakan untuk "ON-OFF". Modul relay terdiri dari resistor variabel,

LED, *switch* SPDT (*Single Pole Double Throw*) dan *relay*. Komponen resistor variabel pada rangkaian ini berfungsi menurunkan arus, agar tidak merusak LED. Logika *high* dari *output port* pin mikrokontroler mengakibatkan *relay* mendapat tegangan 12 Volt DC. Kutub *common* yang awalnya terhubung kutub NC berpindah ke kutub NO, sehingga *solenoid valve* atau *stand mixer* “ON” (mendapat tegangan 220 Volt AC), serta LED pada *relay* menyala, yang menandakan *relay* on seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Perangkat lunak pada bagian PC dirancang dengan menggunakan program *Microsoft Visual Basic*. Tahap pertama dimulai dari inialisasi tiap *port*, kemudian dilanjutkan pada proses *input* warna dan *volume* warna yang diinginkan, jika *input* dilakukan dengan benar PC akan mengirimkan data ke mikrokontroler, tetapi jika *input* tidak benar maka PC akan menampilkan *form* “isian data belum lengkap” dan kembali ke proses *input* warna dan *volume* warna yang diinginkan. Pada *Personal Computer* terdapat rumus konversi warna dari RGB (Red, Hijau Biru) kedalam warna CMYK (*Cyan, Magenta, Yellow, Black*). Konversi juga dibuat menggunakan program *Visual Basic* dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} C &= 1 - R \\ M &= 1 - G \\ Y &= 1 - B \\ K &= \min(C, M, Y) \\ C &= C - K \\ M &= M - K \\ Y &= Y - K \end{aligned}$$

Contoh:

Misalkan data dari PC :

$$\begin{aligned} Red &= 0 \\ Green &= 255 \\ Blue &= 0 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} C &= 255 - 0 = 255 \\ M &= 255 - 255 = 0 \\ Y &= 255 - 0 = 255 \end{aligned}$$

Nilai $K = 0$ (nilai minimum dari C, M, Y)

Jadi : *Cyan* yang dibutuhkan = $255 - 0 = 255$

Magenta yang dibutuhkan = $0 - 0 = 0$

Yellow yang dibutuhkan = $255 - 0 = 255$

Pada alat ini menggunakan warna CMYK, sehingga *range* CMYK antara 0 – 100 sedangkan *range* warna RGB antara 0 – 255, sehingga harus ada proses konversi dari *range*

warna RGB ke *range* warna CMYK. Proses konversi tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} red &= red * 100 / 255 \\ green &= green * 100 / 255 \\ blue &= blue * 100 / 255 \end{aligned}$$

PC akan menunggu data dari sensor warna, jika PC sudah menerima data dari sensor warna, PC akan memeriksa kadar C,M,Y,K-nya, jika data sesuai proses pencampuran cat selesai, jika data tidak sesuai, maka PC memerintahkan mikrokontroler mengaktifkan *relay driver valve* sesuai dengan warna C,M,Y,K yang kurang.

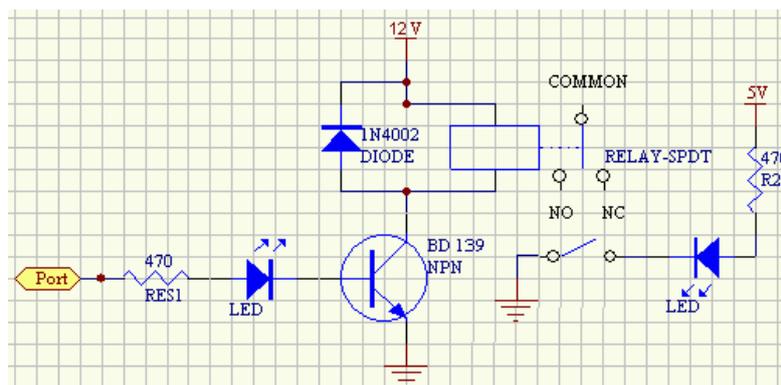
PENGUJIAN

Pengujian dilakukan sebagai upaya untuk menganalisis apakah sistem dapat bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan dalam 2 tahapan besar, yaitu pengujian tiap rangkaian dan pengujian sistem keseluruhan. Peralatan pendukung yang digunakan dalam pengujian adalah *Oscilloscope* TEKTRONIX TDS 210 *Two Channel Digital Real-Time Oscilloscope, Function Generator, Amperemeter, Voltmeter, Project Logic Board*.

Pengujian modul catu daya dilakukan untuk mengetahui apakah output catu daya yang digunakan mengalami *drop* tegangan jika diberikan beban. Pengujian dilakukan dengan memberikan konsumsi arus yang berbeda-beda kemudian dilihat apakah catu daya yang digunakan mengalami *drop* tegangan. Beban-beban yang dipakai untuk menguji catu daya, yaitu beban 1 sebesar 101.2 Ω, beban 2 sebesar 446 Ω, beban 3 sebesar 993 Ω, beban 4 sebesar 4.63K Ω, dan beban 5 sebesar 9.96K Ω. Setelah pengujian selesai dilakukan, dapat disimpulkan bahwa rangkaian catu daya yang dibuat dapat bekerja dengan baik, sehingga dapat dipergunakan untuk menyuplai daya pada sistem pencampur cat otomatis ini.

Untuk melakukan pengujian pada rangkaian mikrokontroler diperlukan *software* yang berfungsi untuk mengontrol atau mengoperasikan kerja dari rangkaian tersebut. Pengujian ini menggunakan 8 buah LED, apabila mikrokontrolernya berjalan dengan baik maka lampu LED akan menyala sesuai dengan logika yang diberikan pada program. Berdasarkan hasil pengujian ternyata lampu LED yang terhubung dengan *port A* dari mikrokontroler menyala sesuai dengan logika yang diberikan.

Rangkaian *relay* pada sistem ini digunakan untuk



■ Gambar 6. Pengujian Rangkaian Relay

■ **Tabel 1.** Hasil Pengujian Sistem

No	Warna Dari PC					Warna Hasil Pencampuran					Volume Keseluruhan	Persentase Kesalahan				
	C	M	Y	K	W	C	M	Y	K	W		C	M	Y	K	W
1	000	100	50	000	50	000	97	49	000	50	392 mL	-	1.03%	1.02%	-	0 %
2	100	000	100	000	000	98	000	94	000	000	384 mL	1.02%	-	1.06%	-	0 %
3	000	50	50	50	150	000	49	48	49	150	394 mL	-	1.02%	1.04%	1.02%	0 %
4	50	50	000	000	100	50	50	000	000	100	400 mL	0 %	0 %	-	-	0 %
5	000	49	100	000	51	000	48	000	98	51	394 mL	-	1.02%	1.02%	-	0 %

menghidupkan/mematikan *solenoid valve* dan *stand mixer* . Pengujian rangkaian *relay* dilakukan dengan membuat rangkaian seperti pada Gambar 6.

Terminal CO (*Common*) dihubungkan pada katoda dari led, kemudian terminal NC (*Normally Close*) dihubungkan pada ground rangkaian led dan terminal NO (*Normally Open*) dibiarkan tidak terpasang. Sinyal *trigger* dihubungkan pada basis BD 139 dengan logika *high* dan *low* untuk mengetahui cara kerja rangkaian *relay*. Pada keadaan tanpa sinyal *trigger (low)* terminal CO terhubung *short* dengan terminal NC sehingga rangkaian led menyala.

Pada keadaan sinyal *trigger* berlogika *high* pada basis transistor BD 139 mengakibatkan *collector* dan *emitter short* ke *ground*, sehingga *relay* aktif karena mendapat tegangan 12 Volt DC. Terminal CO yang awalnya terhubung terminal NC berpindah ke terminal NO, sehingga rangkaian led “OFF” karena katoda dari led tidak terhubung dengan *ground*. Setelah dilakukan pengujian dapat dinyatakan bahwa *relay* dapat berfungsi dengan baik.

Pengujian berikutnya adalah pengujian sistem. Pengujian sistem diawali dengan pengiriman data serial RS232 dari komputer ke mikrokontroler. Data tersebut merupakan variabel *delay* bagi *driver relay* untuk bekerja (aktif). Data serial ini kemudian diolah oleh mikrokontroler dan dikeluarkan melalui *port* PC0, PC1, PC2, PC3, PC4, dan PC5 untuk masing-masing *valve* warna-warna dasar (*cyan, magenta, yellow, black, air putih*), dan motor. Maka sesuai dengan data yang dikirimkan dari komputer, setiap *valve* terbuka sesuai dengan warna dasar yang dibutuhkan, yang

terdapat pada PC, sehingga warna hasil pencampuran yang diinginkan dapat diperoleh. *Stand mixer* akan aktif setelah *valve* tertutup. Hasil pengujian sistem dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil pengujian rancangan secara keseluruhan diperoleh bahwa mikrokontroler secara keseluruhan dapat bekerja dengan baik dalam penerimaan maupun pengiriman data, baik mengkalibrasi *solenoid valve*, maupun sensor warna. Berdasarkan keseluruhan hasil yang diperoleh dalam pengujian dan pengukuran alat maka dapat dikatakan bahwa sistem pencampur cat otomatis ini dapat bekerja dengan baik sesuai hasil yang diharapkan. Hal ini terlihat dari hasil pencampuran yang dilakukan oleh sistem untuk menghasilkan warna akhir yang sesuai dengan warna yang diinginkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa secara umum sistem dapat bekerja dengan baik untuk menghasilkan warna-warna sesuai dengan *input* dari *user*. Meskipun demikian masih ada sedikit kelemahan yang terletak pada hasil akhir warna, hal ini disebabkan karena warna yang tampak pada layar monitor sedikit berbeda dengan warna aslinya.

Selain itu, kadangkala dapat terjadi kebocoran pada batang besi *solenoid valve* sebagai akibat adanya kotoran yang masuk pada bagian tersebut. Namun kelemahan ini dapat diatasi dengan adanya sistem mekanik yang lebih baik dari sistem ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices & Circuit Theory*, USA: Prentice Hall, fifth edition, 1996, ch.:19 pp.:773.
- [2] D. V. Hall, *Microprocessors and Interfacing: Programming and Hardware*, 2nd edition, Singapore: McGraw-Hill Inc., 1992, ch.: 9, pp.: 245-260, 277-281.
- [3] I Pitras, *Digital Image Processing Algorithms*, New York, Penerbit Prentice Hall, 1992, ch.:1 pp.:30-32.