

## **APLIKASI CENTRIFUGE TURNTABLE BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51 DENGAN PENAMPIL LCD GM2004**

Slamet Hani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Staf pengajar Jurusan Teknik Elektro IST Akprind Yogyakarta

Masuk: 11 Juli 2008, revisi: 8 Nopember 2008, diterima: 10 Januari 2009

### **ABSTRACT**

*A Centrifuge is one very important medical apparatus for separating some medical subtracts such as blood, urine, drugs for producing vaccines and antitoxins. Basically this apparatus is centrifugal turntable equipped with a study turning mechanism and a set of tube holders to accommodate 4 up to 20 subtract sample tubes. The needed rotation controlling system was designed and constructed in steps. First, for the entire mechanical as well as electronic subsystem. Second, on the details of the electronic hardware and the connected mechanism. Third, the software needed to run the electronic hardware. Fourth, to load the controlling program into the AT89C51 microcontroller and finally the run test of the entire system. The result shows that this centrifuge regulator works sufficiently well to replace the original failing system.*

**Keywords:** Centrifuge, Microcontroller AT89C51, LCD

### **INTISARI**

*Sentrifuge merupakan peralatan laboratorium medis yang paling penting dalam proses pemisahan subtract medis seperti darah, air seni, obat, pembuatan vaksin dan anti toksin. Secara prinsip alat ini merupakan meja putar sentrifugal yang dilengkapi dengan tiang putar serta kait dan dapat menampung 4 sampai dengan 20 tabung uji subtract. Sistem kontrol sentrifuge diperlukan beberapa tahapan. Pertama, membuat rencana desain sistem elektronis dan mekanis turntable. Kedua, desain perangkat-keras dan diteruskan memasang komponen elektronik. Ketiga desain perangkat-lunak program dengan menggunakan algoritma sistem. Keempat, isikan program perancangan ke dalam IC AT89C51 dan letakkan ke perangkat-keras Sistem akhir dan dicek. Sistem kontrol berbasis mikrokontroler AT89C51 ini telah dapat digunakan dalam pengaturan sentrifuge sebagai pengganti sistem kontrol sentrifuge asli pabrikan, meskipun masih terdapat kekurangan yang masih harus disempurnakan.*

**Kata Kunci:** Sentrifuge, Mikrokontroler AT89C51, LCD

### **PENDAHULUAN**

Sejalan dengan perkembangan teknologi sekarang, khususnya teknologi elektronika, telah dicapai kemajuan sangat pesat. Berbagai teknologi dalam bidang apapun baik industri, rumah sakit maupun rumah tangga hampir semua menggunakan peralatan elektronis.

Kesehatan merupakan masalah yang amat penting karena dengan tubuh yang sehat maka dapat melakukan rutinitas kegiatan kita sehari-hari dengan lancar dan baik.

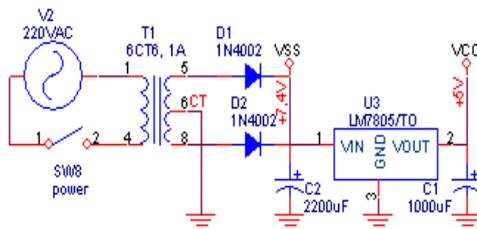
Salah satu diantaranya adalah peralatan medis yang mengaplikasikan komponen-komponen elektronika yang

dapat membantu mengkodekan sistem kontrol sentrifuge. Kode-kode akan dibaca oleh mikrokontroler dan diartikan fungsinya sebagai bentuk sinyal kendali ke mikrokontroler.

Berdasarkan alasan yang telah dikemukakan diatas, maka peneliti telah merancang bangun suatu sistem aplikasi sentrifuge yang terintegrasi dengan menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali atau otak sistem, dan LCD sebagai penampil data informasinya.

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dari alat yang direncanakan serta analisisnya, dengan menekuni kerja dua komponen utama, yaitu mikrokontroler

AT89C51 dan LCD. Tampak bahwa desain alat dibagi menjadi beberapa bagian meliputi rangkaian *Driver*, *Interface*, *Motor PSC 3 Speed*, *Keypad*, *LCD 20x4*, *Buzzer*, Mikrokontroler AT89C51 dan Mekanis *Sentryfuge turntable*.

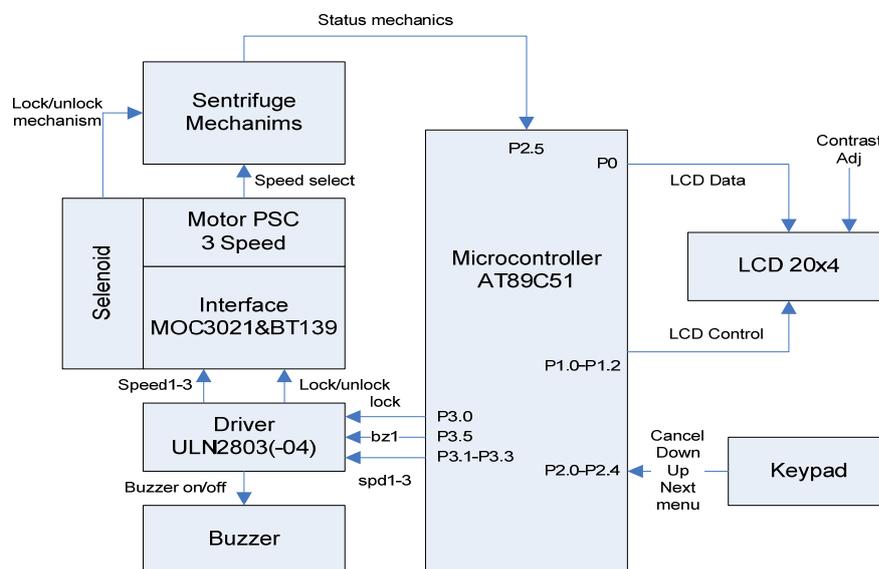


Gambar 1. Unit Catu Daya

Rangkaian catu daya terdiri atas penurunan tegangan, penyearah, perata *ripple*, dan *regulator*, seperti tampak pada Gambar 1. Bagian mikrokontroler disusun menggunakan U<sub>1</sub> AT89C51 yang dicatu menggunakan tegangan +5Vdc. Dalam rangkaian mikrokontroler U<sub>1</sub> dapat dilihat bahwa *pin* EA dihubungkan secara

langsung dengan +5Vdc. Hal ini berarti rangkaian mikrokontroler U<sub>1</sub> dikonfigurasi untuk bekerja dalam *mode single chip* dan tidak memerlukan pemasangan memori eksternal. Skematik ini dapat dilihat pada Gambar 2. Unit Mikrokontroler, LCD, dan *Keypad*

Untuk dapat bekerja dengan benar, rangkaian mikrokontroler U<sub>1</sub> memerlukan 2 rangkaian pendukung eksternal harus dipasang secara tepat. Rangkaian pertama merupakan pembangkitan frekuensi clock yang dibentuk menggunakan kristal Y<sub>1</sub>, kapasitor C<sub>6</sub> dan C<sub>5</sub>. Sedangkan rangkaian kedua berupa rangkaian reset dibentuk dengan menggunakan kondensator SW<sub>1</sub> C<sub>4</sub> dan R<sub>1</sub>. Bagian dari mikrokontroler U<sub>1</sub> merupakan bagian penting dari sistem rangkaian alat karena semua data input dan output harus diproses dan dikontrol melalui U<sub>1</sub> termasuk proses menerima data dari *keypad*, proses kalkulasi dan proses penampilan informasi ke LCD.



Gambar 2. Diagram blok sistem perangkat keras yang dirancang

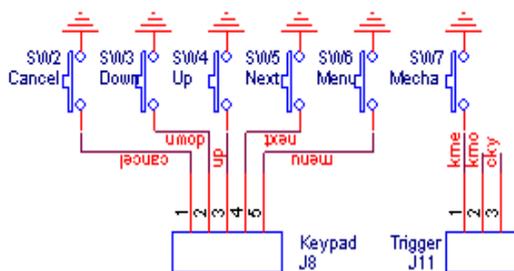
Bagian *display* LCD disusun menggunakan modul LCD ADT2004 yang dikoneksikan melalui soket J<sub>4</sub> dan dilengkapi dengan pengatur kecerahan layar atau *Contrast Adj* yang dibentuk menggunakan RV<sub>1</sub>. Karena panel LCD ini digunakan untuk penampilan data dengan menu statis (proses tunggu peng-

hitungan *timer*), maka saluran kontrol R/W tetap dihubungkan dengan *port* mikrokontroler U<sub>1</sub>, tidak semua kaki pada U<sub>1</sub> AT89C51 digunakan untuk proses transfer data, seperti dapat dilihat pada (Tabel 1).

Tabel 1. Inisialisasi Pemakaian Port

No	Port	Keterangan	No	Port	Keterangan
1	P0.0	LCD D0	17	P2.0	SW <sub>2</sub> Cancel
2	P0.1	LCD D1	18	P2.1	SW <sub>3</sub> Down
3	P0.2	LCD D2	19	P2.2	SW <sub>4</sub> Up
4	P0.3	LCD D3	20	P2.3	SW <sub>5</sub> Next
5	P0.4	LCD D4	21	P2.4	SW <sub>6</sub> Menu
6	P0.5	LCD D5	22	P2.5	SW <sub>7</sub> Kme
7	P0.6	LCD D6	23	P2.6	SW <sub>7</sub> Kmo
8	P0.7	LCD D7	24	P2.7	SW <sub>7</sub> Cky
9	P1.0	LCD RS	25	P3.0	Lock
10	P1.1	LCD RW	26	P3.1	Spd 1
11	P1.2	LCD CS	27	P3.2	Spd 2
12	P1.3	Not Used	28	P3.3	Spd 3
13	P1.4	Not Used	29	P3.4	Bz0
14	P1.5	Not Used	30	P3.5	Bz1
15	P1.6	Not Used	31	P3.6	Bz2
16	P1.7	Not Used	32	P3.7	Bz3

Bagian *keypad* atau papan kunci disusun menggunakan 5 buah saklar mikro tipe 4 *pin* SW<sub>2</sub>-SW<sub>6</sub> yang berfungsi sebagai saluran pengatur *mode* kerja alat dan 1 buah saklar mekanis SW<sub>7</sub> yang terpasang bersama tutup mekanis *sentryfuge*. Karena saklar SW<sub>2</sub>-SW<sub>7</sub> terhubung dengan saluran pentanahan, maka penekanan saklar-saklar ini akan mengakibatkan *pin* yang terhubung dengan saluran U<sub>1</sub> AT89C51 berada dalam status logika 0 dan pada saat saklar-saklar tersebut dilepas *pin* yang terhubung dengan saluran U<sub>1</sub> AT89C51 berada dalam status logika 1.

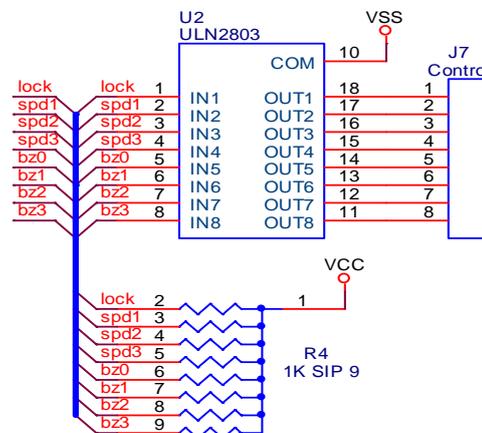


Gambar 3 Skematik Bagian Keypad

Skematik *keypad* dapat dilihat pada Gambar 3. Saklar SW<sub>2</sub> berfungsi sebagai saklar pengatur status sistem cancel, SW<sub>3</sub> berfungsi sebagai saklar pengatur setting data *timer down*, SW<sub>4</sub> berfungsi sebagai saklar pengatur setting

data *timer up*, SW<sub>5</sub> berfungsi sebagai saklar pengatur next menu, SW<sub>6</sub> berfungsi sebagai saklar pemanggil menu utama setting dan SW<sub>7</sub> berfungsi sebagai saklar pembaca status tutup mekanis *sentryfuge*.

Driver ULN2803, merupakan bagian *driver* yang disusun menggunakan komponen inti U<sub>2</sub> ULN2803 dan dicatu menggunakan tegangan +6Vdc. Bagian ini juga dilengkapi dengan resistor *pull up* R<sub>4</sub> dan berfungsi mengendalikan proses pengendalian *interface* motor PSC, *solenoid* dan *buzzer*. Skematik dapat dilihat pada Gambar 4. (Malvino AP, 2003)



Gambar 4 Skematik Bagian Driver ULN2803

Dalam gambar skematik ini dapat dilihat bahwa saluran IN1-IN8 basis transistor internal U<sub>2</sub> dikemudikan oleh P3.0-P3.7 U<sub>1</sub>. Karena prinsip pengaturan pin IN1-IN8 identik, proses kerjanya cukup menggunakan 1 bagian saja.

Pada saat P3.0 berstatus logika 1, maka saluran IN1 akan mendapat tegangan sumber basis. Proses ini mengakibatkan transistor *internal* yang relevan bekerja dalam keadaan saturasi, sehingga tegangan tembus LED internal MOC3021 dibagian *interface* dapat dihubungkan ke ground (dibodikan). Prinsip pengaturan inilah yang menyebabkan LED internal MOC dapat menyala.

Pada saat P3.0 berstatus logika 0, maka saluran IN1 akan kehilangan tegangan sumber basis. Proses ini mengakibatkan transistor *internal* yang relevan berada dalam keadaan *cutoff* dan mengakibatkan tegangan tembus LED internal MOC3021 dibagian *inter-face*

tidak dapat dihubungkan ke bodi. Prinsip pengaturan inilah menyebabkan LED internal MOC mati.

Dalam Gambar 5 dapat dilihat bahwa saluran keluaran U2 dihubungkan melalui konektor J7 ke rangkaian *interface* lainnya. Karena konektor ini terhubung dengan 3 saluran MOC U4-U7 dibagian *interface*, maka kedua prinsip proses pengaturan penyalakan LED indikator tersebut diatas berlaku untuk proses pengendalian kecepatan motor PSC dan selenoid.

Unit Interface Motor, bagian *interface* motor dan selenoid merupakan rangkaian pengendali beban yang bekerja seperti saklar. Rangkaian ini diperlukan untuk mengendalikan beban berupa motor PSC dan mekanis tutup sentrifuge dengan catuan listrik jaringan 220VAC. Hal penting yang harus diperhatikan dalam otomatisasi sistem ini terletak pada metode penyekatan antara sistem rangkaian alat dengan rangkaian beban. Persyaratan mutlak ini mengharuskan transmisi data yang terjadi harus dapat bekerja meskipun disekat secara listrik dan tidak terdapat koneksi atau pengkawatan yang bersifat langsung dari rangkaian kontrol ke rangkaian pengendali beban. Skematik bagian *interface* motor dapat dilihat pada Gambar 6. Rangkaian *interface* motor dapat bekerja memanfaatkan komponen optodiode U4-U7 MOC3021 dan triac Q1-Q3. Dengan menggunakan komponen-komponen tersebut, proses pensaklaran triac Q1-Q3 hanya dapat terjadi apabila Led internal MOC3021 U4-U6 saat dimatikan atau dinyalakan. Karena komponen pada rangkaian dari masing-masing *driver* identik, untuk mempermudah pemahaman kerja keseluruhan rangkaian *driver lamp* cukup hanya digunakan 1 bagian *driver* saja.

Pada saat status logika P3.0 = 1, led internal U4 akan mati karena kedua kutubnya memiliki nilai positif yang sama. Pengaturan yang demikian tersebut akan menyebabkan diac internal U4 tersumbat dan tidak dapat menyalurkan tegangan panjar *gate* (yang dibentuk menggunakan R5 dan R6) di saluran U4 pin 6 ke U4 Pin 4 yang terhubung dengan *gate* triac Q1. Kondisi demikian ini mengakibatkan triac Q1 tidak bekerja atau berada

dalam kondisi seperti saklar terbuka. Proses pengaturan inilah menyebabkan *speed 1* tidak mendapat tegangan jaringan 220VAC.

Pada saat status logika P3.0 = 0, led internal U4 akan menyala karena kedua kutubnya berbeda potensial. Pengaturan ini akan menyebabkan diac internal U4 terbuka dan menyalurkan tegangan dari R5 dan R6 yang terdapat di U4 pin 6 ke *gate* triac Q1 melalui U4 pin 4. Kondisi ini mengakibatkan triac Q1 mendapat tegangan panjar *gate* dan bekerja seperti saklar tertutup. Proses pengaturan tersebut yang menyebabkan *speed 1* mendapat tegangan catuan jaringan 220VAC.

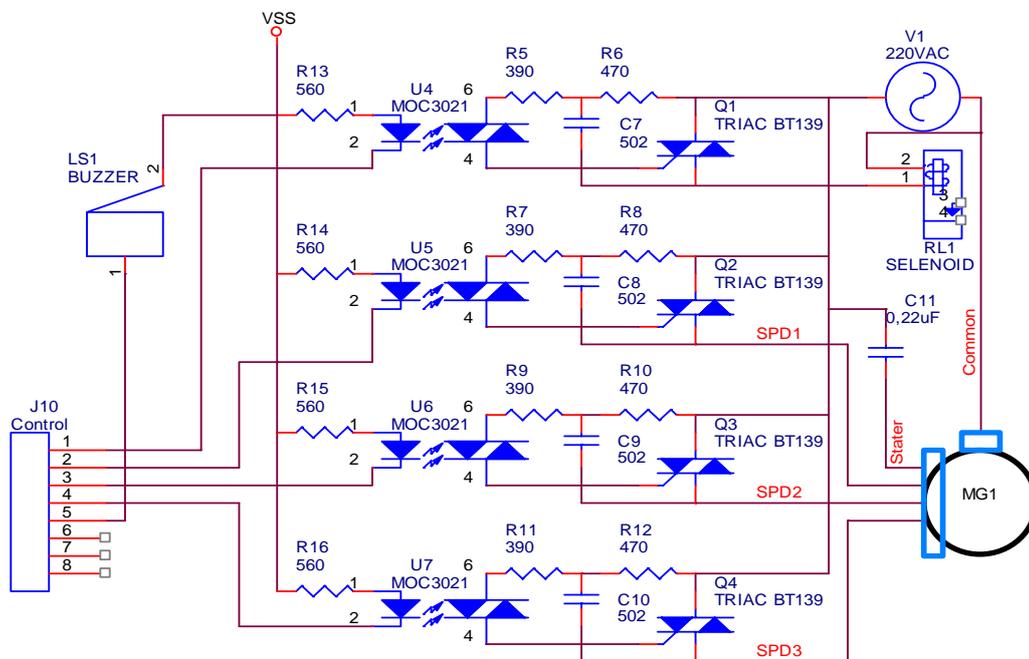
Untuk mencegah/menghindari dan mengurangi efek induksi balik dari lampu beban, di saluran keluaran triac Q1 harus dipasang rangkaian filter yang disusun menggunakan kapasitor C7. Berdasarkan uraian tersebut dapat diketahui bahwa lebar pulsa keluaran P3.0 mikrokontroler U1 sangat menentukan status lama waktu pensaklaran Q1 dalam menyalakan beban.

Cara kerja dari alat menyeluruh, rangkaian *sentrifuge turntable* berbasis aplikasi mikrokontroler bekerja menggunakan tegangan catuan +5Vdc, +6Vdc dan 220Vac. Pada saat alat dihidupkan pertama kali, mikrokontroler akan segera menonaktifkan rangkaian beban (motor, selenoid dan buzzer). Kondisi ini menyebabkan tegangan catuan 220Vac bagian *hot wire* akan disalurkan ke motor AC, selenoid dan *interface* motor, sedangkan bagian *cold wire* hanya dihubungkan secara langsung ke bagian *interface* motor. Mode pengaturan ini tidak akan menjalankan motor AC penggerak mekanis *sentrifuge turntable*, kecuali pengguna telah selesai memasukkan data *entry* pilihan pengaturan yang diinformasikan ke layar LCD sebagai bentuk perintah pengaturan motor penggerak mekanis *sentrifuge turntable*.

Untuk mengatur kecepatan dan lama putar mekanis *sentrifuge turntable*, pengguna harus memasukkan data pengaturan waktu eksekusi dan mode kecepatan melalui *keypad* yang tersambung secara langsung dengan P2.0-P2.4. Data hasil *entry* pilihan pengaturan

tersebut kemudian dieksekusi oleh mikrokontroler AT89C51 sesuai dengan konsep dan alur data pemrograman file

*sentry hex* yang terdapat didalam mikrokontroler tersebut.



Gambar 5 Skematik Bagian Interface Motor

Pilihan mode speed 1 akan menyebabkan motor AC penggerak mekanis *sentrifuge turntable* dijalankan dengan mode 1 untuk menghasilkan putaran sekitar 1400 rpm. Mode tersebut diinformasikan ke layar LCD dan dieksekusi menggunakan saluran bit port p3.0 yang terhubung dengan driver motor khusus saluran spd1. Pilihan mode speed 2 digunakan untuk menghasilkan putaran sekitar 1430 rpm dan dieksekusi menggunakan saluran bit port p3.1 yang terhubung dengan driver motor khusus saluran spd2. Pilihan mode speed 3 digunakan untuk menghasilkan putaran lebih dari 1460 rpm dan dieksekusi menggunakan saluran bit port p3.2 yang terhubung dengan driver motor khusus saluran spd3 (Malcom, 1985)

Untuk menjalankan dan mematikan alat secara otomatis sesuai *setting*, pengguna dapat melakukan *setting* terhadap *timer* internal mikrokontroler secara berurutan dengan memasukkan nilai *setting* menit (maks 59) dan detik (max 59). Setelah itu, pengguna hanya perlu

memasukkan *subtract* uji ke dalam *sentrifuge* dan menutup mekanisnya. Pada akhir proses eksekusi timer, sistem akan menginformasikan kondisi tersebut dengan bentuk visual *buzzer* yang berbunyi panjang. Hal penting yang harus diperhatikan dalam perancangan sistem *sentrifuge* turntable berbasis mikrokontroler terletak pada ketepatan pengaturan waktu interval program yang diatur berdasarkan kalkulasi *step cycle* subrutin *delay*. Untuk mendapatkan nilai yang tepat, struktur program timer bekerja menggunakan mode *timer* 16 bit yang diatur melalui *remod*. Oleh karena itu, waktu eksekusinya akan memiliki selisih 2-3 detik dibandingkan dengan penggunaan timer analog. (Wasito S., 2004).

Penentuan diagram alir beserta algoritma program *sentry.asm* ditentukan berdasarkan inialisasi LCD dan inialisasi database. Diagram alir program *sentry.asm* dapat dilihat pada Gambar 2.

**PEMBAHASAN**

Artikel ini membahas, beberapa pengujian hasil rancangan, catu daya diuji dengan hasil baik, dilanjutkan dengan bagian-bagian lain berikut:

Pengujian Bagian *Keypad* dan Saklar *Trigger*, pengujian digunakan untuk mengetahui status logika saluran *port 2* mikrokontroler pada saat masing-masing *keypad* dan saklar *trigger* dikondisikan aktif maupun pasif.

Pengujian *Driver* ULN2803, pengujian *driver* motor digunakan untuk mengetahui status logika saluran *port 3* mikrokontroler pada saat saluran pengendali lilitan motor untuk *speed 1*, *speed 2* dan *speed 3* dikondisikan aktif maupun pasif. Hasil pengujian ini dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Bagian *Driver*

No	Test Point	Tegangan Logika High	Tegangan Logika Low	Keterangan
1	Pin1 U <sub>2</sub>	+2,4V	+0,45V	Kontrol Keylock
	Pin2 U <sub>2</sub>	+2,4V	+0,45V	
2	Pin3 U <sub>2</sub>	+2,4V	+0,45V	Kontrol Speed1
3	Pin4 U <sub>2</sub>	+2,4V	+0,45V	Kontrol Speed2
4	Pin5 U <sub>2</sub>	+2,4V	+0,45V	Kontrol Speed3 Kontrol Buzzer

Rangkaian *driver* menggunakan komponen aktif berupa ULN2803 yang memiliki karakteristik  $V_{IN(ON)} = 2,4V$  dengan arus  $I_C = 200mA$ . Ketentuan ini nilai  $V_{IH}$  U<sub>1</sub> akan mengalami pembebanan yang cukup besar. Untuk mengantisipasi agar *port* kontrol P2 tidak kekurangan arus, pemasangan R *pull-up* R<sub>4</sub> disalurkan input U<sub>2</sub> bersifat wajib. Dengan menggunakan ULN2803, beban yang terpasang berupa *buzzer* BZ<sub>1</sub>, *optocoupler* U<sub>4</sub>-U<sub>6</sub> akan dikendalikan dengan menggunakan arus maksimal sebesar 200mA.

Pengujian Mikrokontroler Dan LCD, bagian sistem reset dan osilator mikrokontroler digunakan untuk mengetahui tundaan waktu yang terjadi pada saat saklar reset serta kinerja sistem reset dan gelombang osilasi rangkaian kristal. Hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 3. Dapat diketahui bahwa kondisi *reset* mikrokontroler U<sub>1</sub> terjadi pada saat *power on* dan pada saat saklar *reset* dite-

kan. Nilai nominal tegangan pada saat status *reset* bekerja ditentukan 0,7Vcc atau sebesar 3,5V. Ketentuan tegangan ini sesuai dengan spesifikasi pin reset yang dicantumkan dalam datasheet. Kondisi reset mikrokontroler U<sub>1</sub> setelah *power on* memiliki nilai nominal tegangan sebesar 0,9V. Nilai tegangan dipengaruhi oleh R<sub>RST</sub> atau R<sub>1</sub>.

Tabel 3. Pengujian Bagian Mikrokontroler dan LCD

No	Test Point	Tegangan	Keterangan
1	Pin 9 U <sub>1</sub>	3,5 V	Reset Otomatis
2	Pin 18 U <sub>1</sub>	0,9 V	Output Osc Internal
	Pin 19 U <sub>1</sub>	3,5 V	Input Osc Internal
4	Pin 32–39 U <sub>1</sub>	H=2,4 V L=0,45 V	D0-D7 Lcd databit out
5	Pin 1–8 U <sub>1</sub>	H=2,4 V L=0,45 V	RS Lcd control
		H=2,4 V L=0,45 V	RW Lcd control
		H=2,4 V L=0,45 V	CS Lcd control

Tegangan masukan pada pin mikrokontroler telah mencukupi yang dibutuhkan oleh LCD untuk pembacaan logika *high* dan *low*. Sesuai dengan *datasheet* dari LCD ADT2040 tegangan akan terbaca *high* oleh pin 8 bit dan *driver* kontrol LCD bila bernilai  $\geq +2,4$  volt, dan terbaca *low* bila  $\leq +0,45$  volt. Jadi sistem keluaran dari mikrokontroler telah mencukupi tegangan dari pembacaan LCD.

Tabel 4. Hasil Pengujian Bagian *Interface* Motor

	Status Motor	Pin Kontrol	Status Logika	Keterangan
1	Speed 1	P3.1	Low	Motor berputar 1400 Rpm
2	Speed 2	P3.2	Low	Motor berputar 1430 Rpm
3	Speed 3	P3.3	Low	Motor berputar 1460 Rpm
4	Mati	P3.1 - P3.3	High	Motor berhenti berputar

Kondisi pengaturan pin RS, RW dan CS (EN) memiliki prasyarat tegangan  $V_{IH}=2,4V$ ,  $V_{IL}=0,45V$ ,  $V_{OH}= 2,4V$ ,  $V_{OL}=0,45V$ . Dengan ketentuan ini, saluran I/O mikrokontroler U<sub>2</sub> dapat diguna-

kan untuk pengemudian secara langsung (*Direct point*).

Pengujian *Interface Motor*, digunakan untuk mengetahui status logika saluran *port 3* mikrokontroler pada saat saluran pengendali lilitan motor untuk *speed 1*, *speed 2*, dan *speed 3* dikondisikan aktif maupun pasif. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

#### KESIMPULAN

Sistem kontrol berbasis mikrokontroler AT89C51 dapat digunakan untuk pengaturan *senytrifuge turntable* sebagai pengganti sistem kontrol *senytrifuge* asli pabrikan, meskipun masih terdapat kekurangan yang masih harus disempurnakan.

Perlu adanya penyesuaian desain mekanis penggerak dan kemampuan motor yang digunakan.

Hasil pengujian *subtract* darah menggunakan *senytrifuge* hasil perancangan dijalankan dengan *setting* waktu  $\pm 30$  menit dengan kecepatan  $\pm 1400$  rpm, belum dapat menghasilkan *subtract* darah dalam kondisi jadi karena seharusnya dengan kecepatan  $\pm 3000$  rpm telah dilakukan pengujian ulang dengan *setting* waktu  $\pm 59$  menit dengan kecepatan tetap  $\pm 1400$  rpm, *subtract* darah dihasilkan dalam kondisi jadi (Sempurna).

Jadi kelemahan alat, dalam hal putaran yang kurang cepat dapat diatasi dengan waktu kerja yang  $\pm$  dua kali lebih panjang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Afianto EP, 2006, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 (Teori dan Aplikasi)*, Edisi Kedua, Gava Media Yogyakarta.
- Brink, O.G, 1983, *Dasar-dasar Instrumentasi*, Binacipta, Jakarta.
- Malik M, 1997, *Bereksperimen dengan Mikrokontroler 8051*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Malvino, A.P dan Barmawi, M., 1987, *Prinsip-prinsip Elektronika*, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Malvino AP, 2003, *Prinsip-prinsip Elektronika*, Salemba Teknika, Jakarta.
- Nalwan PA,. 2003. *Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, Edisi Pertama, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Malcom, 1985, *Pengantar Ilmu Teknik Instrumentasi*, Edisi Pertama. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Wasito S., 2004, *Vademekum Elektronika*, Edisi Kedua, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.