

PERANCANGAN PERANGKAT KERAS PENGENDALI MOTOR STEPPER JARAK JAUH

SURYA DARMA

*Dosen Tetap yayasan Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Palembang
Email :suryadarma.stmt@gmail.com*

ABSTRAK

Motor stepper merupakan jenis motor yang bisa digunakan untuk mendapatkan tingkat presisi yang baik. Dengan hanya merubah inputan data ke setiap lilitannya secara bergantian, motor dapat digerakkan. Langkah atau step merupakan ciri khas dari motor ini. Motor stepper sangat baik untuk diaplikasikan pada peralatan yang membutuhkan motor penggerak posisi. Pemberian data ke motor melalui komputer memungkinkan motor dapat dikendalikan jarak jauh. Untuk itu, diperlukan adanya suatu perangkat yang menghubungkan komputer tersebut dengan motor stepper itu sendiri.

Untuk antarmuka digunakan mikrokontroler AT89S52 keluaran Atmel.corp. keluarga MCS-51 yang bekerja secara single chip. Komunikasi mikrokontroler ini dengan komputer dilakukan secara serial, dengan memanfaatkan IC MAX 232 sebagai konverter tegangan dari level tegangan RS 232 ke level TTL atau sebaliknya. Arus keluaran mikrokontroler tidak dapat langsung digunakan untuk mengendalikan motor sehingga dibutuhkan adanya suatu driver sebagai switching.

Dari hasil pengujian peralatan diperoleh kesalahan maksimum yang dicapai motor adalah pada saat menempuh sudut 45^0 yaitu 6,68% sedangkan kesalahan minimumnya adalah 0,25 % pada saat menempuh sudut 360^0 . Semakin tepat pemberian data ke motor, maka semakin kecil error yang dihasilkan dan semakin baik resolusi motor, semakin presisi posisi yang dihasilkan

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Terdapat berbagai jenis motor yang biasa digunakan sebagai objek pengendalian. Salah satunya adalah motor stepper. Motor stepper merupakan jenis motor yang bisa digunakan untuk mendapatkan tingkat presisi yang baik. Langkah atau step merupakan ciri khas dari motor ini. Merujuk pada hal tersebut, motor stepper sangat baik untuk diaplikasikan pada peralatan yang membutuhkan motor penggerak posisi seperti halnya pada kamera pengawas ruangan.

Adapun pengendalian motor stepper dapat dilakukan dengan berbagai macam cara. Salah satunya yaitu mengendalikan motor stepper menggunakan komputer. Melalui komputer dapat diberikan perintah kepada motor stepper untuk berotasi sebesar sudut yang diinginkan, searah jarum jam (clock wise) ataupun berlawanan dengan arah jarum jam (counter clock wise).

Meskipun demikian tetap dibutuhkan adanya suatu antarmuka yang menghubungkan antara komputer dengan motor stepper. Antarmuka ini terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras. Melalui antarmuka ini komputer menyampaikan perintah kepada motor stepper untuk melangkah sebesar sudut yang diinginkan.

1.2. Perumusan Masalah

Perancangan perangkat keras antar muka sebagai pengendali motor stepper meliputi perancangan komunikasi dengan komputer dan perancangan kendali motor. Pada perancangan kendali motor yaitu meliputi perancangan minimum sistem dan perancangan driver motor.

Pada perancangan komunikasi dengan komputer dapat menggunakan port paralel ataupun port serial. Untuk perancangan minimum sistem dapat menggunakan mikrokontroler sebagai processing unit sedangkan untuk rangkaian driver motor dapat pula menggunakan sebuah IC yang sudah terintegrasi rangkaian penggeser pulsa.

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Mode pemberian data pada motor stepper adalah full step pembangkitan tunggal.
2. Pengendalian dilakukan satu arah tanpa umpan balik.
3. Motor dikendalikan tanpa beban

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan khusus penulisan penelitian ini adalah merancang perangkat keras antarmuka sebagai pengendali motor stepper.

1.5. Manfaat Penelitian

Memberikan informasi kepada pembaca mengenai cara merancang perangkat keras antarmuka sebagai pengendali motor stepper.

II. ANTAR MUKA DAN MOTOR STEPPER

2.1 Komunikasi Paralel

Port paralel komputer adalah port data komputer yang digunakan untuk mentransmisi 8 bit data dalam satu detik. Berdasarkan standar port paralel IEEE 1284 yang dikeluarkan pada tahun 1994, didefinisikan lima mode operasi sebagai berikut :

- Mode kompatibilitas
- Mode nibble
- Mode byte
- Mode EPP (Enhanced Paralel Port)
- Mode ECP (Extended Capability Port)

Tujuan standar ini adalah untuk mendesain driver dan peralatan yang baru dan kompatibel dengan peralatan yang lain serta standar paralel port yang diluncurkan sebelumnya pada tahun 1981.

Mode kompatibilitas, nibble dan byte digunakan sebagai standar perangkat keras yang tersedia di port paralel orisinal. EPP dan ECP membutuhkan tambahan perangkat keras dan dapat berjalan dengan kecepatan yang lebih tinggi. Mode kompatibilitas atau centronics hanya dapat mengirimkan data pada arah maju pada kecepatan 50 KB/detik. Untuk menerima data, mode harus diubah menjadi mode nibble atau byte. Mode Nibble dapat menerima 4 bit (nibble) pada arah mundur, misalnya dari alat ke komputer. Mode byte menggunakan fitur *bidirectional paralel* untuk menerima 1 byte (8 bit) pada arah mundur.

Port paralel *extend* dan *enhanced* menggunakan perangkat keras tambahan untuk membangkitkan dan mengatur handshaking. Untuk mengeluarkan 1 byte ke printer menggunakan mode kompatibilitas, perangkat lunak yang digunakan harus :

1. Menulis byte ke data port
2. Mengecek untuk melihat apakah printer sibuk Jika sibuk, ia tidak akan menerima data sehingga data yang ditulis akan hilang.

3. Membuat strobe (pin 1) bernilai rendah. Ini memberitahukan printer bahwa data yang benar telah berada pada jalur data.
4. Membuat strobe tinggi kembali setelah menunggu sekitar 5 mikrodetik setelah membuat strobe low.

Hal ini membatasi kecepatan data. EPP dan ECP mengizinkan perangkat keras mengecek jika printer sibuk dan mengeluarkan sinyal strobe atau handshaking lainnya. Ini berarti hanya satu instruksi I/O yang harus dilakukan dan akan meningkatkan kecepatan.

Protokol EPP mempunyai empat macam siklus transfer data yang berbeda, yaitu:

- Siklus baca data
- Siklus baca alamat
- Siklus tulis data
- Siklus tulis alamat.

Siklus data digunakan untuk mentransfer data antara host dan periferal. Siklus alamat digunakan untuk mengirimkan alamat, saluran (*channel*), atau informasi perintah dan kontrol.

Berikut ini adalah tabel pin konektor DB25 dan centronics dengan 34 konektor. DB25 ialah konektor yang umum digunakan di komputer sebagai port paralel sedangkan konektor centronics umum ditemukan di printer.

Pin DB 25	Pin Centronics	SPP Signal	Arah in/Out	Register	Perangkat keras di inversi
1	1	nStrobe	In/Out	Control	Ya
2	2	Data 0	out	Data	
3	3	Data 1	out	Data	
4	4	Data 2	out	Data	
5	5	Data 3	out	Data	
6	6	Data 4	out	Data	
7	7	Data 5	out	Data	
8	8	Data 6	out	Data	
9	9	Data 7	out	Data	
10	10	nAck	In	Status	
11	11	Busy	In	Status	Ya
12	12	Paper out/Paper end	In	Status	
13	13	Select	In	Status	
14	14	nAuto-linefeed	In/Out		Ya
15	32	nError/nFault	In	Status	
16	31	nInitialize	In/Out	Control	
17	36	nSelect-Printer/nSelect-In	In/Out	Control	Ya
18-25	19-30	Ground	Gnd		

Tabel 2.1 Port paralel

*(Prasetia, Retna dan Widodo, Catur Edi. 2004. *Interfacing Port Paralel dan Port Serial Komputer dengan Visual Basic 6.0*. Yogyakarta : Andi.)

*(Putra, Agfianto Eko. 2003. *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi Edisi 2*. Yogyakarta : Gava Media.)

2.2 Komunikasi Serial

Komunikasi data serial ialah pengiriman data secara serial (data dikirimkan satu persatu secara berurutan). Komunikasi serial ada dua macam, yaitu komunikasi sinkron dan asinkron. Pada komunikasi sinkron hanya ada satu pihak (pengirim atau penerima) yang menghasilkan clock dan mengirimkan clock tersebut bersama - sama dengan data.

Komunikasi data asinkron adalah komunikasi data dimana kedua pihak (pengirim dan penerima) masing – masing menghasilkan clock namun hanya data yang ditransmisikan. Komunikasi data serial ini dikerjakan oleh UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). Frekuensi clock harus sama dan harus terdapat sinkronisasi. Hal ini dilakukan oleh bit ‘Start’ dan bit ‘Stop’. Ketika saluran transmisi dalam keadaan idle (sedang tidak terpakai), output UART adalah dalam keadaan logika ‘1’. Ketika pengirim ingin mengirimkan data, output UART akan diset terlebih dahulu ke logika ‘0’ untuk waktu satu bit. Sinyal ini pada penerima akan dikenali sebagai sinyal ‘start’ yang digunakan untuk mensinkronkan fase clocknya terhadap fase clock pengirim.

Kemudian data akan dikirimkan secara serial dari bit paling rendah (bit 0) sampai bit tertinggi. Selanjutnya akan dikirim sinyal ‘Stop’ sebagai akhir dari pengiriman data serial. Cara pemberian kode data yang disalurkan tidak ditetapkan secara pasti. Berikut ini adalah contoh pengiriman huruf ‘A’ dalam format ASCII (41 heksa/1000001 biner) tanpa bit paritas.

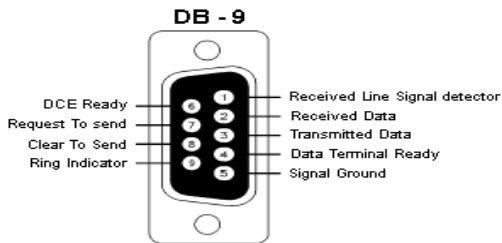


Gambar 2.1 Pengiriman huruf ‘A’ tanpa bit paritas

Kecepatan transmisi (baud rate) dapat dipilih bebas dalam rentang tertentu. Baud rate yang umum dipakai adalah 110, 135, 300, 600, 1200, 2400, dan 9600 (bit/detik). Dalam komunikasi data serial, baud rate dari dua alat yang berhubungan harus diatur pada kecepatan yang sama. Selanjutnya, harus ditetapkan panjang data (6,7 atau 8 bit), paritas (genap, ganjil atau tanpa paritas), dan jumlah bit ‘stop ‘ ($1, 1\frac{1}{2}$, atau 2 bit).

Konfigurasi Port Serial

Gambar 2.2 adalah gambar konektor port serial DB-9 pada bagian belakang CPU. Pada komputer IBM PC kompatibel biasanya kita dapat menemukan dua konektor DB-9 yang biasa dinamai COM1 dan COM 2.



Konektor port serial terdiri dari dua jenis, yaitu konektor 25 pin (DB25) dan 9 pin (DB 9) yang berpasangan. Tabel berikut menunjukkan hubungan konektor serial port dengan nama sinyalnya.

Gambar 2.2 Konektor serial DB-9

DB-25 pin	DB 9 pin	Singkatan	Nama
Pin 2	Pin 3	TD	Transmit Data
Pin 3	Pin 2	RD	Receive Data

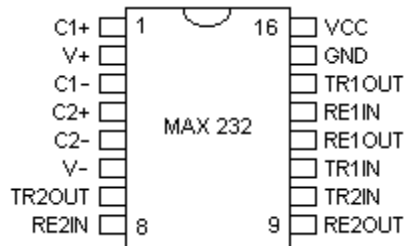
Pin 4	Pin 7	RTS	Request To Send
Pin 5	Pin 8	CTS	Clear To Send
Pin 6	Pin 6	DSR	Data Set Ready
Pin 7	Pin 5	SG	Signal Ground
Pin 8	Pin 1	CD	Carrier Detect
Pin 20	Pin 4	DTR	Data Terminal Ready
Pin 22	Pin 9	RI	Ring Indikator

Tabel 2.2 Pin-Out Serial Port

*(Prasetya, Retna dan Widodo, Catur Edi. 2004. *Interfacing Port Paralel dan Port Serial Komputer dengan Visual Basic 6.0*. Yogyakarta : Andi.)

2.3 Rangkaian Pengubah Level Tegangan

Kami menggunakan RS232 untuk komunikasi dengan komputer secara serial, untuk itu *mikrokontroller* memerlukan sebuah piranti yang berfungsi sebagai pengubah level tegangan. RS232 menggunakan level/karakteristik elektrik yang berbeda dengan level TTL. RS232 bekerja pada level tegangan +3 s/d +25 Volt untuk *space (logic 0)* dan -3 s/d -25 Volt untuk *mark (logic 1)*. Sedangkan TTL bekerja pada level tegangan -5 s/d +5 Volt. Pada dasarnya piranti ini hanya digunakan sebagai pengubah level tegangan ke level *Transistor Transistor Logic (TTL)*, tidak berfungsi sebagai pengkodean sinyal yang melewati RS232, dan juga tidak mengkonversikan data serial ke paralel.



Gambar 2.3 IC MAX232 sebagai pengubah level tegangan

Karakteristik elektrik dari RS232 adalah sebagai berikut :

- *Space (logic 0)* mempunyai level tegangan sebesar +3 s/d +25 Volt.
- *Mark (logic 1)* mempunyai level tegangan sebesar -3 s/d -25 Volt.
- Level tegangan antara +3 s/d -3 Volt tidak terdefiniskan.
- Arus yang melalui rangkaian tidak boleh melebihi dari 500 mA., ini dibutuhkan agar sistem yang dibangun bekerja dengan akurat.*(....., "RS-232", <http://www.lookrs232.com/>)

2.4 Mikrokontroler MCS-51

Secara sederhana mikrokontroler merupakan suatu IC yang didalamnya berisi CPU, ROM, RAM, dan I/O. Dengan adanya CPU, maka mikrokontroler dapat melakukan proses "berfikir" berdasarkan program yang diberikan kepadanya. Mikrokontroler bisa dikelompokkan dalam satu keluarga, masing – masing mikrokontroler memiliki spesifikasi tersendiri namun kompatibel dalam pemrogramannya.

A. Struktur Memori

Memori mikrokontroler keluarga MCS-51 mempunyai stuktur yang terdiri atas :

- *RAM Internal*, biasanya digunakan untuk menyimpan variabel atau data yang bersifat sementara.
- *Special Function Register* (Register Fungsi Khusus), memori yang berisi register-register yang mempunyai fungsi-fungsi khusus yang disediakan oleh *mikrokontroler* tersebut, seperti timer, serial dan lain-lain.
- *Flash PEROM*, memori yang digunakan untuk menyimpan instruksi-instruksi MCS51.

MCS-51 mempunyai struktur memori yang terpisah antara RAM Internal dan Flash PEROM nya. RAM *Internal* dialamati oleh *RAM Address Register* (Register Alamat RAM) sedangkan *Flash PEROM* yang menyimpan perintah-perintah MCS-51 dialamati oleh *Program Address Register* (Register Alamat Program).

B. Komunikasi Serial pada Mikrokontroler

Port serial MCS-51 bersifat dupleks-penuh atau *fullduplex*, artinya port serial bisa menerima dan mengirim secara bersamaan. Selain itu juga memiliki penyangga penerima. Penerimaan dan pengiriman data port serial melalui register SBUF. Penulisan ke SBUF berarti mengisi register pengiriman SBUF sedangkan pembacaan dari SBUF berarti membaca register penerimaan SBUF yang memang terpisah secara fisik (secara perangkat lunak namanya menjadi satu yaitu SBUF).

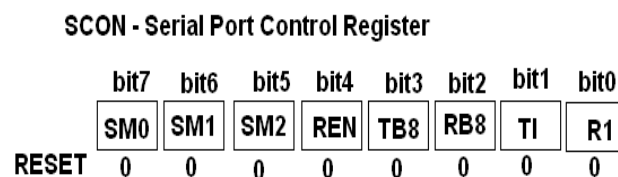
Port serial pada MCS-51 bisa digunakan dalam 4 mode kerja yang berbeda. Dari 4 mode tersebut, 1 mode diantaranya bekerja secara sinkron dan 3 lainnya bekerja secara asinkron. Keempat mode kerja tersebut adalah :

- **Mode 0** : Mode ini bekerja secara sinkron, data serial dikirim dan diterima melalui kaki P3.0 (RxD), sedangkan kaki P3.1 (TxD) dipakai untuk menyalurkan detak pendorong data serial yang dibangkitkan MCS-51. Data dikirim/diterima 8 bit sekaligus. Kecepatan pengiriman data (*baudrate*) adalah 1/12 frekuensi kristal yang digunakan.
- **Mode 1** : Pada mode ini tetap yaitu, data dikirim dan diterima melalui kaki P3.0 (RxD), secara asinkron (juga mode 2 dan 3). Pada Mode 1 data dikirim/diterima 10 bit sekaligus. Pada MCS-51 yang berfungsi sebagai penerima bit *stop* adalah RB8 dalam register SCON. Mode inilah (mode 2 dan 3) yang umum dikenal sebagai UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*).
- **Mode 2** : Data dikirim/diterima 11 bit sekaligus. Pada MCS-51 yang berfungsi sebagai penerima, bit 9 ditampung pada bit RB8 dalam register SCON, sedangkan bit *stop* diabaikan tidak ditampung.
- **Mode 3** : mode ini sama dengan mode 2, hanya saja kecepatan pengiriman data (*baud rate*) bisa diatur sesuai dengan keperluan, seperti halnya Mode 1.

Pada mode asinkron (mode 1, mode 2, mode 3), port MCS-51 bekerja secara *fullduplex*. *(Christanto, Danny dan Pusporini, Kris. 2004. *Panduan Dasar Mikrokontroler Keluarga MCS-51*. Surabaya : Innovative Electronic.)

C. Register Kontrol Port Serial

Register kontrol dan status untuk port serial dalam SCON register ini mengandung bit-bit pemilihan mode kerja port serial, bit data ke-9 pengiriman dan (TB8 dan RB8) serta bit-bit interupsi port serial (TI dan RI).



Gambar 2.5 Register SCON

Keterangan:

- SM0
Serial port mode bit 0, bit pengubah mode serial.
- SM1
Serial port mode bit 1, bit pengatur mode serial.
- SM2
Serial port mode bit 2, bit untuk mengaktifkan komunikasi multiprocessor pada kondisi set.
- REN
Receive Enable, bit untuk mengaktifkan penerimaan data dari port serial pada kondisi set.
- TB8
Transmit bit 8, bit ke-9 yang akan dikirim pada mode 2 atau mode 3.
- RB8
Receive bit 8, bit ke-9 yang diterima pada mode 2 atau mode 3. Pada mode 1 bit ini berfungsi sebagai *stop* bit.
- TI
Transmit Interupt Flag, bit yang akan di set pada akhir pengiriman karakter.
- RI
Receive Interupt Flag, bit yang akan diset pada akhir penerimaan karakter.

SM0	S M 1	MOD E	Keterangan	Baur Rate
0	0	0	Register Geser	Tetap ($f_{osc}/12$)
0	1	1	UART 8-bit	Bisa diubah-ubah(denganTimer)
1	0	2	UART 9-bit	Tetap($f_{osc}/64$ atau $f_{osc}/32$)
1	1	3	UART 9-bit	Bisa diubah-ubah(dengan timer)

Tabel 2.5 Register Kontrol Port Serial

- Bit SM0 dan SM1 (bit7 dan 6 pada register SCON) dipakai untuk menentukan mode kerja port serial.
- Bit REN (bit4) dipakai untuk mengaktifkan kemampuan port serial untuk menerima data. Pada mode 0 kaki RxD (P3.0) dipakai untuk mengirim data serial. Dan juga untuk menerima data serial..
- Pada mode 2 dan mode 3, port serial bekerja dengan 9 bit data (dari 11 bit, 1 bit untuk *start* dan 1 bit untuk *stop*).
Pada mode 1, RB8 dipakai untuk menampung bit *stop* yang diterima. Tidak seperti dalam UART standart. Semuanya dikerjakan oleh perangkat keras dalam IC UART.
- Bit T1 (bit 1) merupakan sinyal yang setara dengan sinyal *Transmitter Holding Register Empty* (THRE) yang umum dijumpai pada UART standart.
- Bit RI (bit0) merupakan sinyal yang setara dengan sinyal RDA (*Receiver Data Available*) yang umum dijumpai pada UART standart.

D. Pengaturan Baud Rate Port Serial

Baud rate port serial dapat diatur pada mode 1 dan mode 3, namun pada Mode 0 dan Mode 2 *baud rate* tersebut mempunyai kecepatan yang permanen yaitu untuk mode 0 adalah 1/12 frekuensi osilator dan mode 2 adalah 1/64 frekuensi osilator.

Dengan mengubah bit SMOD yang terletak pada register PCON menjadi set (kondisi awal saat sistem reset adalah clear), *baud rate* pada mode 1,2, dan 3 akan berubah menjadi dua kali lipat.*(Prasetia, Retna dan Widodo, Catur Edi. 2004. *Interfacing Port Paralel dan Port Serial Komputer dengan Visual Basic 6.0*. Yogyakarta : Andi.)

E. Siklus Mesin

Siklus mesin merupakan satuan waktu terkecil dalam menjalankan satu instruksi MCS-51. Satu siklus mesin terdiri dari enam state atau enam tahap dengan masing – masing tahap terdiri dari dua fasa. Jadi, satu siklus mesin terdiri dari dua belas periode osilator atau dua belas pulsa *clock*.

2.5 Motor Stepper

Motor stepper banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi yang biasanya cukup menggunakan torsi yang kecil, seperti untuk penggerak piringan disket. Pada umumnya motor stepper hanya mempunyai kumparan pada statornya sedangkan pada bagian rotornya merupakan magnet permanen.

A. Tipe Motor Stepper

Motor stepper dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan magnet yang digunakan, yaitu :

1. Variabel reluktansi
2. Tipe permanen magnet

Tipe permanent magnet dibagi menjadi dua yaitu Unipolar, dan Bipolar. Juga terdapat motor stepper jenis hybrid motor yang merupakan penggabungan antara permanen magnet dan variabel reluktansi dengan konstruksi motor adalah kutub statornya bergerigi banyak, sedangkan rotor merupakan permanent magnet. Adapun system pengendaliannya sama dengan permanent magnet.

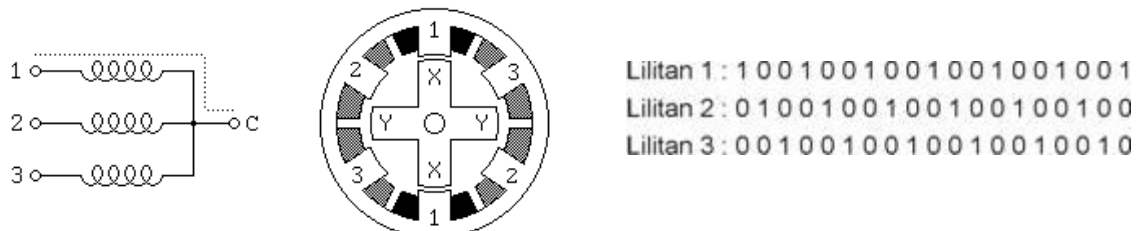
a. Variabel Reluktan Motor

Tipe motor ini memiliki rotor dengan gerigi banyak dan bahan berupa *soft iron*. Pada motor stepper yang mempunyai variabel reluktansi, terdapat 3 buah lilitan yang pada ujungnya dijadikan satu pada sebuah pin common. Untuk dapat menggerakkan motor ini maka aktivasi tiap-tiap lilitan harus sesuai urutannya.

Gambar 2.6 merupakan gambar struktur dari motor dengan variabel reluktansi dimana tiap stepnya adalah 30°. Mempunyai 4 buah kutub pada rotor dan 6 buah kutub pada statornya yang terletak saling berseberangan.

Jika lilitan 1 dilewati arus, lilitan 2 mati dan lilitan 3 juga mati, maka kumparan 1 akan menghasilkan gaya tolakan kepada rotor dan rotor akan berputar sejauh 30° searah jarum jam sehingga kutub rotor dengan label Y sejajar dengan kutub dengan label 2.

Jika kondisi seperti ini berulang terus menerus secara berurutan, lilitan 2 dilewati arus kemudian lilitan 3 maka motor akan berputar secara terus menerus. Maka agar dapat berputar sebanyak 21 step perlu diberikan data dengan urutan seperti pada gambar 2.7.



Lilitan 1 : 1001001001001001001
Lilitan 2 : 0100100100100100100
Lilitan 3 : 0010010010010010010

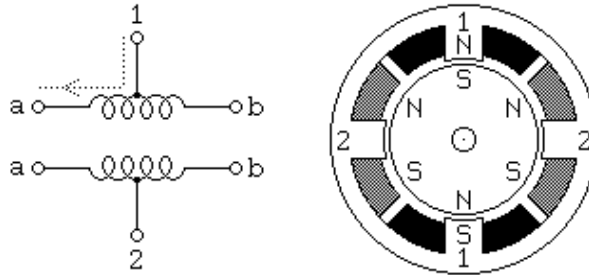
Gambar 2.6 Motor Variabel Reluktance

Gambar 2.7 Urutan Data

'1' pada gambar 2.7 diartikan bahwa lilitan yang bersangkutan dilewati arus sehingga menghasilkan gaya tolak untuk rotor. Sedangkan '0' diartikan lilitan dalam kondisi off, tidak mendapatkan arus.

b. Unipolar Stepper Motor

Motor stepper dengan tipe unipolar adalah motor stepper yang mempunyai 2 buah lilitan yang masing-masing lilitan, ditengah-tengahnya diberikan sebuah tap seperti tampak pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Stepper Motor Unipolar

Motor ini mempunyai step tiap 30° dan mempunyai dua buah lilitan yang didistribusikan berseberangan 180° di antara kutub pada stator. Sedangkan pada rotornya menggunakan magnet permanen yang berbentuk silinder dengan 6 buah kutub, yaitu 3 buah kutub selatan dan 3 buah kutub utara. Dengan konstruksi seperti ini, jika dibutuhkan tingkat presisi motor stepper yang lebih tinggi, maka dibutuhkan kutub-kutub pada stator dan rotor yang semakin banyak pula. Pada gambar 2.9, motor tersebut akan bergerak setiap step sebesar 30° dengan 4 bit urutan data (terdapat dua buah lilitan dengan tap, total lilitan menjadi 4 lilitan).

Ketelitian dari magnet permanen di rotor dapat mencapai 1.8° untuk tiap stepnya. Ketika arus mengalir melalui tap tengah pada lilitan pertama akan menyebabkan kutub pada stator bagian atas menjadi kutub utara, sedangkan kutub stator pada bagian bawah menjadi kutub selatan. Kondisi akan menyebabkan rotor mendapat gaya tarik menuju kutub-kutub ini. Dan ketika arus yang melalui lilitan 1 dihentikan dan lilitan 2 diberi arus maka rotor akan bergerak lagi menuju kutub-kutub ini. Sampai di sini rotor sudah berputar sampai 30° atau 1 step.

```

Lilitan 1a : 1000100010001000100010001
Lilitan 1b : 0010001000100010001000100
Lilitan 2a : 0100010001000100010001000
Lilitan 2b : 0001000100010001000100010

```

Gambar 2.9 Urutan Data Motor Stepper Unipolar Pembangkitan tunggal

```

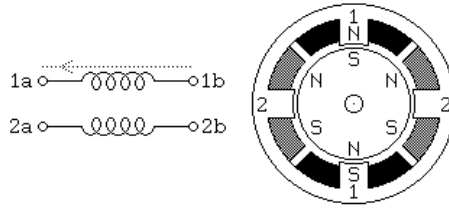
Winding 1a 1100110011001100110011001
Winding 1b 0011001100110011001100110
Winding 2a 0110011001100110011001100
Winding 2b 1001100110011001100110011

```

Gambar 2.10. Urutan data mtor stepper unipolar Pembangkitan ganda

c. Bipolar Stepper Motor

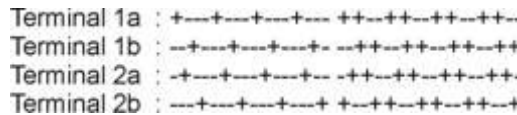
Motor dengan tipe ini mempunyai konstruksi yang hampir sama dengan motor stepper tipe unipolar namun tidak terdapat tap pada lilitannya, seperti tampak pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Motor Stepper Bipolar

Penggunaan motor dengan tipe bipolar ini membutuhkan rangkaian yang sedikit lebih rumit untuk mengatur agar motor ini dapat berputar dalam dua arah.

Untuk mengontrol agar motor ini dapat berputar satu step maka perlu diberikan arus untuk tiap-tiap lilitan dengan polaritas tertentu pula. Urutan datanya dapat dilihat pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Urutan data motor stepper tipe bipolar

B. Half Step Mode

```

Winding 1a 11000001110000011100000111
Winding 1b 00011100000111000001110000
Winding 2a 01110000011100000111000001
Winding 2b 00000111000001110000011100

```

Gambar 2.13 Urutan data motor stepper unipolar (Half Step)

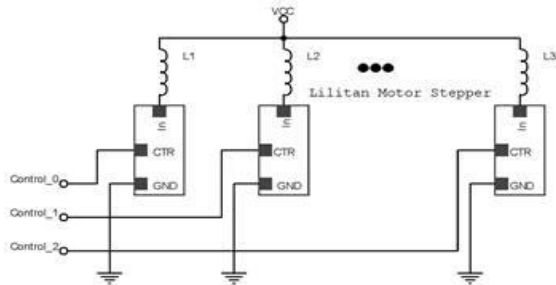
Pada pengoperasian half step ini, mode full step dengan pembangkitan tunggal dan ganda digabungkan. Pada gambar 2.13 diperlihatkan dengan jelas urutan data motor stepper dengan pengoperasian half step. Pada awal pengoperasian lilitan 1a dialiri listrik sehingga stator tertarik ke kumparan 1a kemudian ketika lilitan 1a dan lilitan 2a dialiri arus bersamaan, maka inti magnet akan terletak diantara kumparan 1a dan 2a (gambar 2.16).

Dengan menggunakan mode ini maka resolusi yang didapatkan menjadi lebih baik, yaitu merupakan setengah nilai dari mode full step. Jika pada mode full step untuk menempuh satu putaran penuh dibutuhkan 200 step, maka pada mode half step akan ditempuh selama 400 step.

C. Rangkaian Penggeser Pulsa Motor Stepper

Rangkaian penggeser pulsa pada dasarnya hanya merupakan rangkaian switching arus yang mengalir lilitan pada motor stepper. Urutan pemberian data pada motor stepper dapat mengontrol arah putaran motor stepper tersebut. Penambahan kecepatan pada motor stepper dapat dilakukan dengan cara meningkatkan frekuensi pemberian data pada rangkaian switching arus.

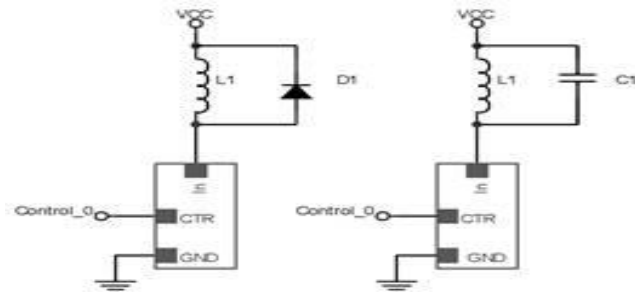
Rangkaian kontrol ini nantinya terhubung langsung dengan lilitan pada motor, rangkaian power suplai, dan rangkaian yang dikontrol secara digital yang pada akhirnya menentukan kapan lilitan yang diinginkan dalam kondisi off atau on.



Gambar 2.14 Driver motor stepper Variabel Reluctance

Pada gambar diatas terdapat 3 blok dimana masing-masing blok mengatur sebuah kumparan motor stepper. Blok tersebut terdiri dari saklar arus yang dikontrol secara digital. Blok ini berperan penting di dalam pengontrolan arus yang akan melewati kumparan motor tertentu. Pengontrolan blok ini dapat dilakukan oleh sebuah rangkaian digital sederhana atau bahkan sebuah komputer melalui printer port. Dengan menggunakan komputer maka diperlukan perangkat lunak yang nantinya akan mengatur pemberian data dengan suatu urutan tertentu kepada komponen saklar di dalam blok.

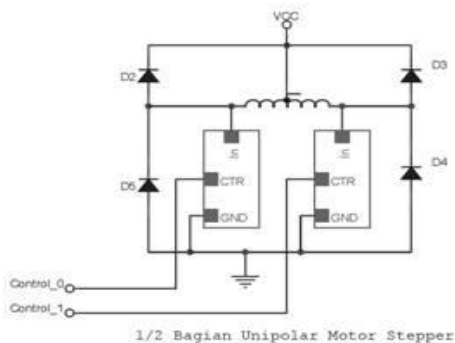
Kumparan pada motor stepper mempunyai karakteristik yang sama dengan karakteristik beban induktif lainnya.



Gambar 2.15 Spike Voltage Reducer

Diode yang terpasang paralel tersebut harus mampu melewatkan arus balik yang terjadi ketika saklar terbuka. Dioda yang digunakan dapat berupa dioda yang umum dipakai seperti 1N4001 atau 1N4002. Jika digunakan dioda yang mempunyai karakteristik 'fast switch' maka perlu diberikan penambahan kapasitor yang dipasang secara paralel pada dioda.

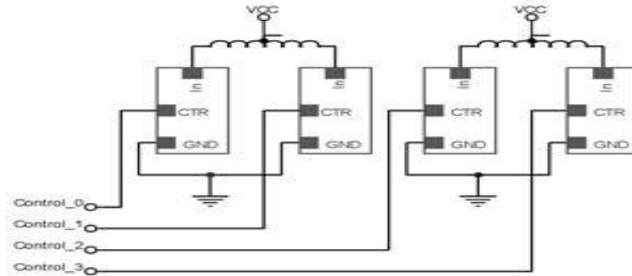
Pemasangan kapasitor paralel terhadap kumparan motor dapat meredam spike yang timbul, karena pada saat spike terjadi menyebabkan kapasitor tersebut *charge* sehingga tegangan spike yang terjadi tidak akan keluar tetapi diredam oleh kapasitor ini. Tetapi yang paling penting adalah kapasitor ini harus mampu menahan *surge current* pada saat terjadi spike. *Surge current* adalah arus tiba-tiba yang sangat besar yang muncul bersamaan dengan tegangan spike. Nilai kapasitor harus dipilih pada kondisi dimana nilai induktansi dari kumparan motor stepper paling besar. Inilah karakteristik motor stepper dengan tipe variabel reluctance dimana nilai induktansinya berubah-ubah tergantung dari sudut putaran pada poros rotor. Penambahan kapasitor secara tepat akan membentuk sebuah rangkaian resonansi yang dapat menyebabkan peningkatan torsi pada motor dengan tipe ini.



Gambar 2.16 driver motor permanent magnet unipolar

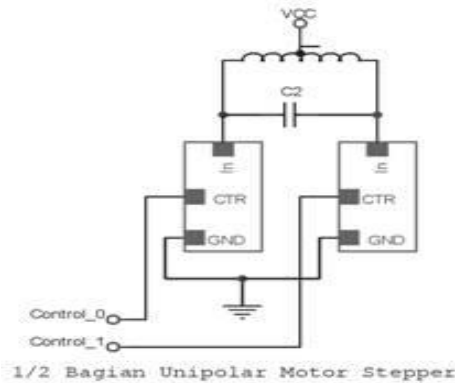
Rangkaian kontrol untuk mengendalikan motor stepper dengan tipe unipolar ini hampir sama dengan rangkaian kontrol pada motor tipe variabel reluctance. Perbedaannya hanya pada struktur kumparan motornya saja.

Walaupun demikian karena bebannya merupakan beban induktif maka selalu ada tegangan spike yang muncul ketika saklar terbuka. Oleh sebab itu perlu penambahan dioda yang terpasang paralel dengan kumparan motor stepper seperti terlihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Spike voltage reducer untuk motor stepper unipolar

Untuk membatasi level tegangan spike dapat pula digunakan kapasitor yang terpasang seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Pemberian Kapasitor Pembatas Tegangan Spike

2.6. Perhitungan Resolusi Motor

Resolusi (jumlah step) dan sudut yang ditempuh satu step oleh motor stepper tergantung pada :

- Jumlah kutub – kutub pada rotor
- Jumlah fasa pada motor
- Mode pengiriman data (full step/half step)

Dengan demikian dapat ditentukan resolusi dari motor. Berikut adalah persamaan sudut yang ditempuh motor untuk satu step.

$$\begin{aligned} \text{Sudut step} &= \frac{360^{\circ}}{N_{ph} X Ph} \\ &= 360^{\circ} / N \end{aligned}$$

Dimana : N_{ph} = Jumlah kutub pada rotor

Ph = Jumlah fasa

N = Total jumlah kutub untuk semua fasa.

Banyaknya fasa dapat ditentukan dengan mengetahui berapa pasang gigi pada stator motor stepper tersebut.

Pada perancangan alat ini, objek yang akan dikendalikan adalah motor stepper. Adapun jenis motor stepper yang dipilih adalah motor stepper permanent magnet dengan lilitan unipolar. Motor ini didapat dari disk-drive komputer yang berukuran 5 ¼ inchi.dengan impedansi sebesar 75 ohm. Konstruksi motor yaitu memiliki jumlah kutub pada rotor sebanyak 50 kutub sedangkan jumlah fasa motor yaitu empat fasa.

Berdasarkan persamaan di atas maka perhitungan besar sudut step motor ini adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Sudut step} &= \frac{360^0}{N_{ph} \times Ph} \\ &= 360^0 / N, \end{aligned}$$

Sehingga :

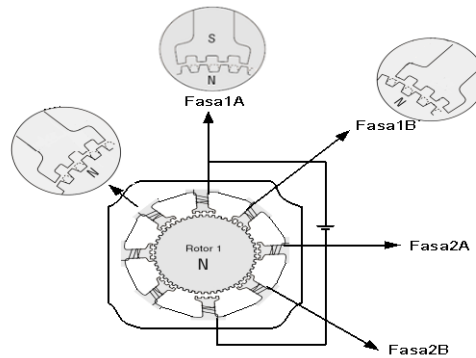
$$\begin{aligned} \text{Sudut step} &= 360^0 / (50 \times 4) \\ &= 360^0 / 200 \\ &= 1,8^0 \end{aligned}$$

Ini berarti satu step motor stepper ditempuh dengan jarak 1,8⁰ pada mode full step, sedangkan pada mode half step, satu step ditempuh dengan sudut :

$$\begin{aligned} \text{Sudut step} &= 360^0 / (100 \times 4) \\ &= 360^0 / 400 \\ &= 0,9 \end{aligned}$$

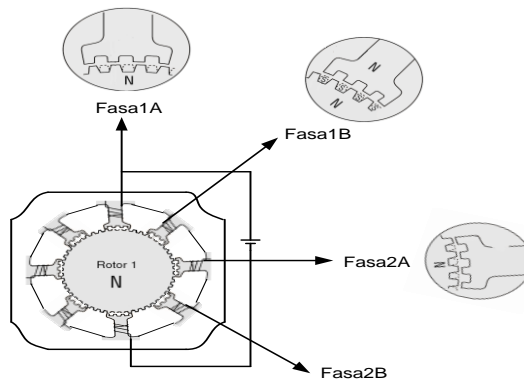
2.7. Gambar motor stepper Unipolar dan Data Shaft

Pada penelitian ini digunakan motor stepper jenis permanen magnet dengan lilitan unipolar. Dengan konstruksi motor yaitu memiliki jumlah kutub pada rotor 1 sebanyak 50 kutub dan pada rotor 2 juga sebanyak 50 kutub. Posisi kutub rotor 1 dan 2 saling mengisi sedangkan jumlah fasa motor yaitu empat fasa. Gambar berikut menjelaskan hubungan posisi stator dan gigi rotor saat dibangkitkan.



Gambar 2.19 Fasa 1A di eksitasi

Saat fasa 1A dieksitasi, maka kutubnya termagnetisasi selatan dan menarik gigi rotor 1 yang merupakan kutub utara, sambil menolak gigi rotor 2 yang merupakan kutub selatan. Sementara kutub fasa 1B yang tidak termagnetisasi berubah posisi terhadap kutub rotor 2 dengan jarak 1,8⁰.



Gambar 2.20 Fasa 1B di eksitasi

Ketika fasa 1B dieksitasi, maka kutubnya termagnetisasi utara dan menarik gigi rotor 2 yang merupakan kutub selatan dan menolak gigi rotor 1 yang merupakan kutub utara. Pengeksitasian fasa ini bergantian mulai dari fasa 1A, fasa 1B, fasa 2A hingga fasa 2B. Sementara untuk mereverse arah putar motor maka urutan pengeksitasian yaitu di mulai dari fasa 2B, hingga 1A secara berurutan. Urutan pemberian data motor yaitu sebagai berikut :

```

Winding 1a 10001000100010001000100011000100010001000100010001
Winding 1b 01000100010001000100010000100010001000100010001000
Winding 2a 00100010001000100010001000010001000100010001000100
Winding 2b 00010001000100010001000100001000100010001000100010
  
```

Gambar 2.21 Urutan Data shaft motor 360⁰

Dengan urutan data shaft seperti di atas, maka motor stepper dapat melakukan satu revolusi. Sementara untuk mereverse arah putar motor, urutan pemberian data shaftnya yaitu sebagai berikut :

```

Winding 2b 10001000100010001000100011000100010001000100010001
Winding 2a 01000100010001000100010000100010001000100010001000
Winding 1b 00100010001000100010001000010001000100010001000100
Winding 1a 00010001000100010001000100001000100010001000100010
  
```

Gambar 2.22 Urutan Data shaft motor 360⁰ reverse

*(.....,"How to Work Stepper Motor", <http://eio.com/jasstep.htm>)

III. PERANCANGAN PERANGKAT KERAS PENGENDALI MOTOR STEPPER

A. Sistem Kontrol

Sistem kontrol pada perancangan perangkat keras pengendali motor stepper ini menggunakan sistem loop terbuka. Perangkat keras yang dirancang merupakan sistem yang minimum. Berikut adalah diagram blok perancangan alat :



Gambar 3.1 Blok diagram perancangan

Spesifikasi Perangkat Keras

Adapun spesifikasi alat yang dibuat ialah :

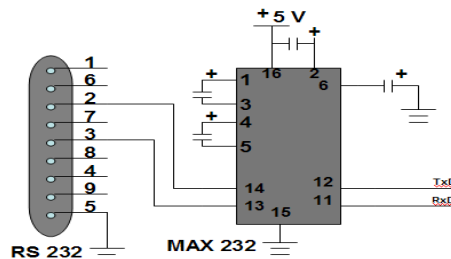
- Mikrokontroler sebagai pengendali motor stepper yang digunakan adalah AT89S52 produk Atmel.corp. kompatibel dengan mikrokontroler keluarga MCS-51
- Rangkaian antarmuka menggunakan transfer data secara serial.
- Banyaknya objek kendali (motor stepper) adalah 1 unit
- Tegangan catu daya pada driver relay dan pada mikrokontroler yaitu +5 Volt (semua ini diambil dari catu daya komputer)
- Jenis motor yang digunakan adalah motor stepper unipolar dengan jumlah fasa 4.

B. Perancangan Pengubah Level Tegangan

Jika peralatan yang dipakai menggunakan logika TTL, sinyal serial port harus dikonversikan terlebih dahulu ke pulsa TTL sebelum digunakan. Sebaliknya, sinyal dari peralatan harus dikonversikan ke logika RS 232 sebelum dimasukkan ke serial port. Konverter yang paling mudah digunakan adalah MAX 232. Di dalam IC ini terdapat charge pump yang akan membangkitkan +10 volt dan - 10 volt dari sumber + 5 volt tunggal. Dalam IC *DIP (Dual In Line Package)* 16 pin (8 pin x 2 baris) ini terdapat dua buah *transmitter* dan dua buah *receiver*.

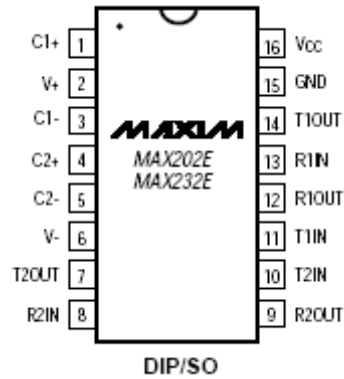
IC MAX232 mempunyai 2 *receivers* yang berfungsi sebagai pengubah level tegangan dari level RS232 ke level *Transistor Transistor Logic (TTL)* dan mempunyai 2 *drivers* yang berfungsi mengubah level tegangan dari level TTL ke level RS232.

Dalam pembuatan rangkaian, IC MAX232 memerlukan beberapa kapasitor. Kami menggunakan kapasitor sebesar 10 μF dengan tegangan 16 Volt pada beberapa kaki pin. IC ini memerlukan input tegangan +5 Volt dengan menghubungkan pin 16 ke sumber tegangan. Sedangkan pin 15 sebagai pin ground dihubungkan ke ground sumber.



Gambar 3.2 Rangkaian Pengubah Level Tegangan

Ada 4 kapasitor yang digunakan dalam rangkaian ini yaitu pada pin 1 (+) dengan pin 3 (-), pin 4 (+) dengan pin 5 (-), pin 2 (+) dengan pin 16 (-). Untuk pin 6, karena bertegangan -10 Volt maka terhubung dengan kaki kapasitor (-) sedangkan *Ground* (+). Koneksi antara IC MAX232 dengan RS232 terhubung melalui pin 14 (*driver 1 output*) yaitu sebagai *Tx (transmitter)* dengan DB9 pin 2 (*received data*), dan pin 13 (*receiver 1 input*) sebagai *Rx (receiver)* dengan DB9 pin 3 (*transmitted data*). Sedangkan pin 12 dan pin 11 menuju ke *mikrokontroler*. Untuk *bypass VCC* ke *ground* ditambahkan sebuah kapasitor dengan kapasitansi 10 μF tegangan 16 volt. *(Jones, Douglas W. 1995. *Control of Stepping Motors*. University of IOWA Departement of Computer Science.)



Gambar 3.3 Pin out MAX 232

Nbr	Name	Purpose	Signal Voltage
1	C1+	+Connector for Capacitor C1	Capasitor should stand at least 16V
2	V+	Output of Voltage Pump	+10 V
3	C1-	- Connector for Capacitor C1	Capasitor should stand at least 16V
4	C2+	+Connector for Capacitor C2	Capasitor should stand at least 16V
5	C2-	-Connector for Capacitor C2	Capasitor should stand at least 16V
6	V-	Output of Voltage Pump	- 10 V
7	T2_Out	Driver 2 Output	RS 232
8	R2_In	Receiver 2 Input	RS 232
9	R2_Out	Receiver 2 Output	TTL
10	T2_In	Driver 2 Input	TTL
11	T1_In	Driver 1 Input	TTL
12	R1_Out	Receiver 1 Output	TTL
13	R1_In	Receiver 1 Input	RS 232
14	T1_Out	Driver 1 Output	RS 232
15	GND	Ground	0 V
16	VCC	Power Supply	5 V

Tabel 3.1 Deskripsi Pin

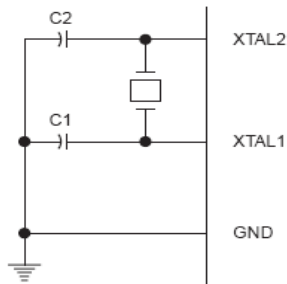
C. Perancangan Antar Muka Menggunakan Mikrokontroler AT89S52

Langkah pertama dalam perancangan sistem minimum adalah menentukan mikrokontroler yang akan digunakan.

Sistem minimum yang dibuat adalah *single chip*. Pada chip mikrokontroler AT89S52 ini sudah terdapat memori internal yaitu memori internal program sebesar 8 Kbyte dan memori internal data sebesar 256 byte.

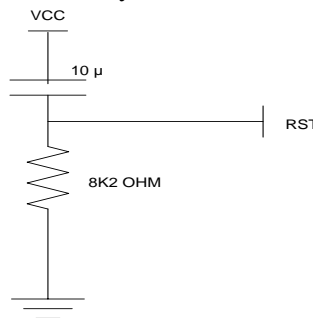
IC harus dilengkapi dengan komponen dasar seperti sumber *clock* dan rangkaian *reset*.

Peran clock ibarat jantung bagi manusia, tanpa detak clock, mikrokontroler juga tidak akan berfungsi. Untuk sumber clock digunakan *quartz crystal*. Pada rangkaian interface ini digunakan quartz crystal dengan frekuensi 11,0592MHz dan dua buah kapasitor dengan nilai 33pF. *Quartz Crystal* ini dihubungkan ke kaki – kaki XTAL1 dan XTAL2 pada mikrokontroler.



Gambar3.4 Rangkaian osilator

Proses reset merupakan proses mengembalikan system ke kondisi semula. *Reset* terletak pada pin 9.

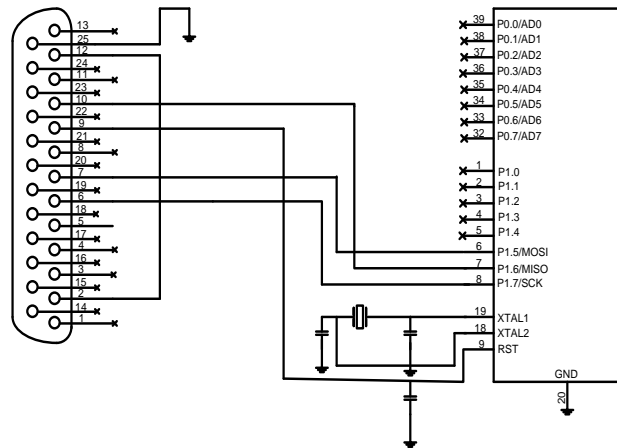


Gambar 3.5 Pin reset

Power-on reset merupakan proses *reset* yang berlangsung secara otomatis pada saat sistem pertama kali diberi daya. Proses ini mempengaruhi semua *register* dan *internal data memory*. Dengan asumsi bahwa frekuensi kristal yang digunakan adalah sebesar 12 MHz, maka pin RST harus bernilai *high* selama 2 mikrodetik. Untuk mendapatkan proses ini, maka pin RST harus diberi tambahan rangkaian seperti gambar 3.4 di atas. Kapasitor yang digunakan adalah dengan kapasitansi 10 μ F, dan resistor dengan resistansi 8,2 Kohm.

Salah satu keunggulan mikrokontroler AT89S52 adalah kemudahan dalam men-*download*-kan program (pemrograman flash memori) yang bisa dilakukan secara langsung pada sistem. Ada dua mode pemrograman flash memori (Memori data/ROM) yaitu mode parallel dan mode serial. Pada pemrograman mode parallel, hampir seluruh pin chip yang dipakai, sedangkan pada mode serial cukup melalui pin MOSI, MISO dan SCK.

Pemrograman flash memori pada penulisan ini dilakukan dengan menggunakan serial mode. Berikut adalah rangkaian downloadernya :



Gambar 3.6 Rangkaian Downloader

Pin 6 (MOSI) pada mikrokontroler dihubungkan ke pin 7 pada DB-25, pin 7 (MISO) dihubungkan ke pin 10 pada DB-25, pin 8 (SCK) dihubungkan ke pin 6 pada DB-25. MOSI merupakan jalur input program dari port parallel, MISO merupakan jalur output mikrokontroler menuju port parallel yang menunjukkan data sudah diterima, sedangkan SCK adalah Serial Clock input dimana frekuensi clock harus kurang dari 1/16 dari frekuensi kristal.

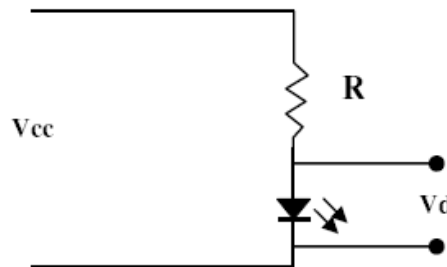
Pada awal proses *download*, pin RST diset *high*, kemudian instruksi *Programming Enable* dieksekusi terlebih dahulu sebelum operasi yang lain dapat dilanjutkan.

Pada minimum sistem ini, digunakan *jumper* untuk memilih sumber reset. Jika *jumper* menghubungkan pin 1 dan 2, maka minimum sistem akan berada pada mode *download* dimana sumber *reset* bukan dari rangkaian reset gambar 3.4 melainkan dari sumber di luar minimum sistem yaitu dari *parallel port*. Jika *jumper* menghubungkan pin 2 dan 3, maka minimum sistem berada pada mode *stand alone* dimana proses *reset* akan dilakukan oleh rangkaian pada gambar 3.4 dan minimum sistem akan langsung mengeksekusi program yang telah di-*download*.

Pin 10 dan pin 11 dihubungkan ke max 232 sebagai interface ke komputer. Masing – masing pin yaitu pin RXD (Serial input port) dan TXD (serial output port). Pin 20 yaitu pin ground dan pin 40 VCC masing – masing dihubungkan ke sumber tegangan dan ground. Pin 31 yaitu pin EA (*External Access Enable*) diset *high*/dihubungkan ke Vcc agar mikrokontroler mengakses program secara internal.

Semua port dapat digunakan baik sebagai port output maupun sebagai port input. Khusus port 0 setiap pinnya perlu dihubungkan ke resistor pack, karena pin ini tidak memiliki *internal pullup*. Untuk menggerakkan motor stepper hanya digunakan sebuah port.

Rangkaian juga ditambahkan dengan sebuah LED yang akan mengindikasikan bahwa rangkaian telah terhubung ke sumber bila menyala.



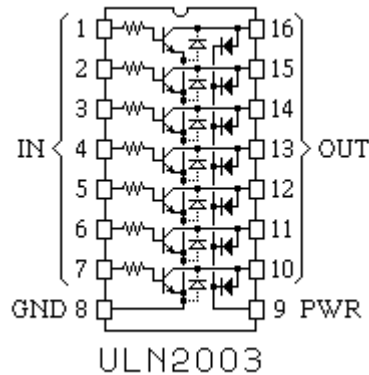
Gambar 3.7 Rangkaian LED

Resistor yang digunakan adalah dengan resistansi 220 Ohm.

*(Putra, Agfianto Eko. 2003. *Belajar Mikrokontroler AT91C51/52/55 Teori dan Aplikasi Edisi 2*. Yogyakarta : Gava Media.)

D. Rangkaian Penggeser Pulsa (Driver) Stepper Motor ULN 2003

Driver berfungsi sebagai *relay* (switch on-off) arus pada masing – masing lilitan dan mengatur arahnya. Rangkaian driver ini secara langsung dihubungkan ke power supply dan ke lilitan – lilitan motor. Rangkaian penggeser pulsa ini dikendalikan oleh sistem digital (dalam hal ini adalah mikrokontroler AT89S52) yang menentukan switch on ataupun off.



Gambar 3.8 Rangkaian driver Relay

Untuk penelitian ini digunakan rangkaian penggeser pulsa yang telah terintegrasi dalam satu chip yaitu ULN 2003. Setiap output pada chip ini dapat dibebani sampai 500mA, serta dilengkapi dengan ‘*suppression diode*’ yang berfungsi mencegah ‘*kickback*’.

Pin 1 hingga pin 7 merupakan pin input yang terhubung ke mikrokontroler, sedangkan pin 10 hingga pin 16 merupakan pin output yang terhubung ke lilitan – lilitan motor. Pin 8 dan pin 9 masing – masing adalah sebagai ground dan power supply.

Untuk penelitian ini digunakan motor stepper unipolar yang memiliki lima buah kabel dengan 4 kabel data dan sebuah kabel common. Untuk pin common pada motor stepper dihubungkan pada pin 9(power supply), sedangkan kabel data dihubungkan ke pin – pin out dari driver ULN 2003.

E. Power Supply

Power Supply yang digunakan menggunakan kabel USB yang dihubungkan ke komputer. Output power Supply yang digunakan sebesar 5 Volt.

Sedangkan untuk motor stepper dan driver ULN 2003 dapat pula menggunakan tegangan 5 volt.

F. Proses Kerja Perangkat Keras Pengendalian Motor Stepper

Pada saat minimum sistem terhubung ke sumber tegangan, maka LED akan menyala. Fungsi LED disini hanyalah sebagai indikator. Adapun perangkat keras terdiri dari :

1. Minimum sistem. Pada minimum sistem terdapat chip MAX 232, mikrokontroler AT89S52 beserta rangkaian osilator, rangkaian penyuntik program.

MAX 232 berfungsi sebagai interface minimum sistem ke RS 232 dari komputer. Rangkaian osilator adalah untuk menghasilkan clock, sementara rangkaian penyuntik program adalah untuk menyuntikkan program ke mikrokontroler.

2. Driver motor stepper ULN 2003. Driver ini berfungsi sebagai rangkaian switching, dan juga sebagai penguat arus karena di dalam chip ini sudah terintegrasi rangkaian penguat arus.

Motor stepper adalah jenis motor yang digunakan untuk mendapatkan posisi yang tepat (precise). Namun demikian hal ini tergantung pada konstruksi motor stepper tersebut. Semakin banyak kutub stator semakin kecil step yang diperoleh. Dengan demikian ketepatan posisi yang diinginkan pun semakin baik pula.

Seperti yang telah disebutkan pada dasar teori bahwa untuk mendapatkan posisi motor pada mode full step adalah dengan memberikan urutan data sebagai berikut

```
Lilitan 1a : 1000100010001000100010001
Lilitan 1b : 0010001000100010001000100
Lilitan 2a : 0100010001000100010001000
Lilitan 2b : 0001000100010001000100010
```

Gambar 3.9 Urutan data motor stepper unipolar Fullstep (Pembangkitan tunggal)

Untuk menggerakkan motor stepper sebanyak satu *step*(langkah), maka relay pada lilitan 1a di-*on*-kan sedangkan relay pada lilitan 1b,2a,dan 2b pada posisi *off*. Selanjutnya, relay pada lilitan 2a di-*on*-kan sedangkan relay pada lilitan 1a,1b, dan 2b pada posisi *off*. Untuk memutar motor stepper sebesar sudut tertentu, motor terlebih dahulu diputar satu putaran penuh, kemudian dihitung berapa langkah yang dibutuhkan untuknya. Dari hasil ini, maka akan didapatkan derajat yang ditempuh motor sepanjang satu step. Nilai satu step dalam derajat ini kemudian dipakai untuk menghitung banyak langkah yang diperukan untuk memutar motor sebesar sudut tertentu.

Berdasarkan data ini dibuat program untuk menggerakkan motor stepper. Setelah program dibuat lalu *dcompile* ke bentuk file *.hex*, kemudian program tersebut di-*download*-kan ke mikrokontroler AT89S52. Pada proses ini jumper menghubungkan pin 1 dan 2, maka sumber reset diperoleh dari port parallel. Kemudian port parallel dirangkai dengan mikrokontroler seperti pada gambar 3.5.

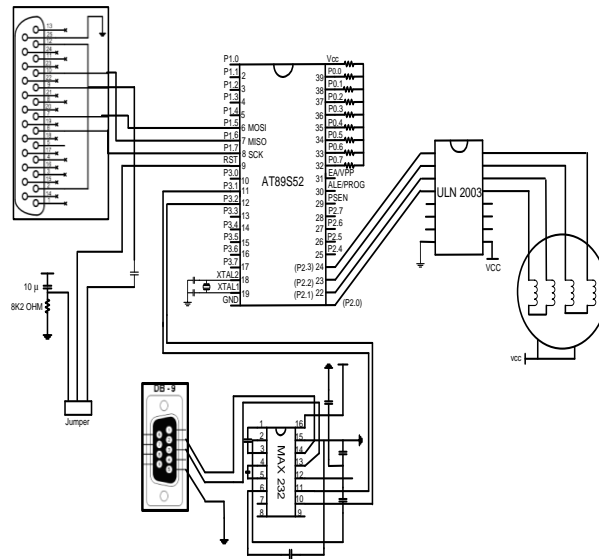
Urutan pemrograman flash memori ini dimulai dengan memberikan perintah kepada mikrokontroler melalui pin MOSI/P1.5 untuk meng-*enable*-kan serial programming. Pada kondisi ini pin RST diset *high*. Maksimum frekuensi serial clock (SCK/P1.7) tidak boleh melebihi 1/16 frekuensi kristal. Kemudian perintah *chip erase* diberikan untuk menghapus flash memori.

Melalui pin MISO/P1.6., lokasi memori dibaca lalu mengirimkan alamat memori yang dipilih. Lalu dilanjutkan dengan menuliskan program ke memori program melalui pin MOSI/P1.5.

Setelah proses pemrograman flash selesai dilakukan, maka posisi jumper dipindahkan ke posisi 2 dan 3. Pada keadaan ini program telah tertanam pada memori program chip. Selanjutnya adalah komunikasi secara serial. Mode port serial diset terlebih dahulu dengan mengatur konfigurasi, yaitu berapa banyak bit data yang diinginkan dan *baud rate* yang digunakan.

Ketika data dikirimkan melalui port serial data dilewatkan melalui pin 3 yaitu pin *transmit data* yang terhubung pada pin 13 pada max-232 yaitu pin *receive input(R_in)*. Kemudian data ini diteruskan melalui pin 12 yaitu pin *receive output (R_Out)* menuju ke pin 10 pada mikrokontroler yaitu pin *Rxd*.

Pada komunikasi serial, bit REN pada SCON SFR harus diberi nilai '1' untuk mengaktifkan penerimaan data. Setelah seluruh byte (karakter/data) diterima, bendera RI akan diset, maka program pada ROM akan segera membaca byte tersebut. Setelah diproses data tersebut dilanjutkan ke driver untuk menswitch arus pada masing- masing lilitan yang kemudian menyebabkan motor melangkah (*step*). Berikut adalah rangkaian keseluruhan dari perangkat keras yang telah dirancang :



Gambar 3.10 Rangkaian keseluruhan

IV. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

A. Umum

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk menguji spesifikasi yang telah dibuat sehingga dapat dilakukan perbaikan apabila hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Pengujian yang dilakukan terdiri dari :

1. Pengujian Max-232
2. Pengujian driver
3. Pengujian secara keseluruhan

B. Pengujian Max-232 Pada Rangkaian

Pin 2 dan pin 6 masing – masing merupakan V+ dan V- yang dibangkitkan oleh MAX-232.

Setelah dilakukan 6 kali pengukuran didapat data sebagai berikut :

	1 (V)	2(V)	3(V)	4(V)	5(V)	6(V)
PIN T_Out	-10	-10	-10	-10	-10	-10
Pin T_In	5	5	5	5	5	5
Pin R_In	-12	-12	-12	-12	-12	-12
Pin R_Out	5	5	5	5	5	5

Tabel 4.1 Tabel Charge Pump

Tegangan rata – rata pada **pin 2** adalah : **9,95 Volt**

Tegangan rata – rata pada **pin 6** adalah : **-9,9 Volt**

Kondisi Pengujian : **Power on.**

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa :

Chip MAX - 232 menaikkan level tegangan + 5volt menjadi + 10volt dan -10 volt. Ini dapat dilihat dengan suplai tegangan 5 volt, dihasilkan tegangan mendekati + 10 volt dan – 10 volt masing – masing pada pin 2 dan pin 6.

	1 (V)	2(V)	3(V)	4(V)	5(V)	6(V)
PIN 2 (+V)	9,9	9,9	10	10	10	10
PIN 6 (-V)	-10	-9,8	-10	-10	-9,9	-9,8

Tabel 4.2 *Tabel Transmitter dan Receiver*

Tegangan rata – rata pada **pin T_Out** adalah : -10 Volt

Tegangan rata – rata pada **pin T_In** adalah : 5 Volt

Tegangan rata – rata pada **pin R_In** adalah : -12 Volt

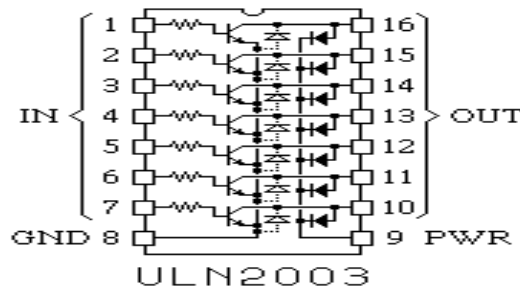
Tegangan rata – rata pada **pin R_Out** adalah : 5 Volt

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa MAX 232 menaikkan level tegangan menjadi 10 volt dan 12 volt masing – masing pada pin T_Out dan pin R_In. Kedua pin ini terhubung ke RS 232 sehingga level tegangan yang dipakai adalah level tegangan RS 232, dimana “0” mempunyai level tegangan sebesar +3 s/d +25 Volt, dan “1” mempunyai level tegangan sebesar -3 s/d -25 Volt.

Untuk hubungan ke mikrokontroler, sinyal level tegangan RS 232 harus dikonversikan terlebih dahulu ke level tegangan TTL. Dapat dilihat dari pin T_In dan pin R_Out yang masing - masing mempunyai tegangan 5 volt. Pengujian ini menunjukkan kinerja yang baik dari chip MAX 232.

C. Pengujian Driver ULN 2003

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan driver ULN 2003 ke mikro dan ke motor stepper lalu diberikan suplai tegangan sebesar +5volt. Kemudian dengan menggunakan program yang lalu *download* kan ke mikro, diberikan perintah untuk memutar motor stepper.



Gambar 4.1 *Driver ULN 2003*

Pin 1 hingga pin 4 digunakan sebagai pin input yang terhubung ke mikrokontroler, sedangkan pin 13 hingga pin 16 digunakan sebagai pin output yang terhubung ke lilitan – lilitan motor. Pin 8 dan pin 9 masing – masing adalah sebagai ground dan power supply.

Hasil yang diperoleh dari pengukuran adalah sebagai berikut :

Pada pin output yaitu pin 13 , 14, 15, dan pin 16 besar arus masing – masing pin adalah 25 mA, dan tegangan masing – masing pin adalah 5 volt. Sedangkan pin 1, 2, 3, dan pin 4 tegangan yang terukur adalah 0,05 volt dan arus yang terukur adalah 15 μ A.

Sementara pin 5, 6, 7, 10, 11, dan pin 12 arus dan tegangannya adalah nol. Ini karena pada pin – pin ini tidak diberikan inputan data. *(Sutadi, Dwi. 2003. *I/O Bus dan Motherboard*. Yogyakarta : Andi.)

Berikut adalah tabel hasil pengukuran dari 6 kali pengukuran :

Pin ULN 2003	(Tegangan)Volt					
	1	2	3	4	5	6
Pin 1	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt
Pin 2	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt
Pin 3	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt
Pin 4	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt	0,05 volt
Pin 13	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt
Pin 14	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt
Pin 15	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt
Pin1 6	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt	5 volt

Tabel 4.3 *Tabel Tegangan pada pin ULN 2003*

Pin ULN 2003	Arus					
	1	2	3	4	5	6
Pin 1	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A
Pin 2	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A
Pin 3	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A
Pin 4	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A	15 μ A
Pin 13	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA
Pin 14	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA
Pin 15	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA
Pin16	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA

Tabel 4.4 *Tabel arus pada pin ULN 2003*

Dari hasil pengukuran di atas baik arus maupun tegangan input lebih kecil dibandingkan tegangan output. Arus input yang didapatkan yaitu dalam orde mikro, sedangkan arus output yang dihasilkan yaitu dalam orde mili ampere. Hal ini menunjukkan bahwa selain berfungsi sebagai switching on atau off, driver ULN 2003 juga berfungsi sebagai penguat.

D. Pengujian Perangkat Secara Keseluruhan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem perangkat keras pengendalian motor stepper secara keseluruhan.

Dari hasil pengujian, pada saat minimum sistem diberi suplai tegangan, LED menyala. Ini berarti minimum sistem telah diberi tegangan. Setelah perintah menggerakkan motor dieksekusi, didapatkan bahwa motor berhasil berputar.

Berdasarkan perhitungan (bab II) :

Satu step sama dengan $1,8^{\circ}$.

- Untuk 360° ditempuh dengan langkah sebanyak $= 360^{\circ}/1,8^{\circ} = 200$ step
- Untuk 180° ditempuh dengan langkah sebanyak $= 180^{\circ}/1,8^{\circ} = 100$ step
- Untuk 90° ditempuh dengan langkah sebanyak $= 90^{\circ}/1,8^{\circ} = 50$ step
- Untuk 45° ditempuh dengan langkah sebanyak $= 45^{\circ}/1,8^{\circ} = 25$ step

Hasil pengujian adalah sebagai berikut :

Jenis Pengujian	1	2	3	4	5	6
360°	200 step	200 step	200 step	200 step	198 step	199 step
180°	100 step	98 step	99 step	99 step	100 step	100 step
90°	52 step	51 step	52 step	52 step	52 step	52 step
45°	23 step	22 step	23 step	24 step	24 step	24 step

Tabel 4.5 Jumlah step

Untuk sudut pengujian 360° terjadi kesalahan pada pengujian ke 5 dan ke 6. Perhitungan kesalahan terhadap hasil perhitungan adalah sebagai berikut :

- Average step pada sudut $360^{\circ} = (200 + 200 + 200 + 200 + 198 + 199) \text{ step} / 6 = 1797 / 6 = 199,5$ step
- Selisih terhadap hasil perhitungan $= 200 - 199,5 = 0,5$
- Persen kesalahan terhadap hasil perhitungan sebagai tolak ukur : $(0,5 \times 100\%) / 200 = 0,25\%$

Dengan cara yang sama didapat nilai kesalahan untuk sudut 180° , 90° , 45° . Berikut adalah tabel perbandingan antara nilai hasil perhitungan, hasil pengujian dan persen kesalahan.

Sudut Pengujian	Average Step (pengujian)	Hasil Perhitungan	Selisih	Persen Kesalahan
360°	199,5 step	200 step	0,5 step	0,25 %
180°	99,33 step	100 step	0,67 step	0,67%
90°	51,83 step	50 step	1,83 step	3,66%
45°	23,33 step	25 step	1,67 step	6,68%

Tabel 4.6 Perbandingan error.

Kesalahan – kesalahan ini dapat terjadi karena beberapa hal, pertama input biner yang diberikan tidak tepat (terjadi pada sudut pengujian 90^0 dan 45^0). Misal untuk menempuh sudut 90 derajat step yang dihasilkan adalah 50 step berdasarkan perhitungan. Sementara pada penginputan program diberikan 52 step, dengan perhitungan pemberian data dilakukan sebanyak 13 kali siklus, dimana satu siklus adalah 4 langkah. Demikian juga pada sudut 45^0 , pemberian data dilakukan sebanyak 6 siklus dengan total step adalah 24 step. Ini terbukti dengan nilai error yang besar, 3,66% yaitu untuk 90^0 dan 6,68% untuk 45^0 .

Motor sering tertahan pada satu posisi yang menyebabkan sudut yang ditempuh tidak sempurna. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya torsi tahan (*holding torque*) motor yang besar sehingga arus yang dilewatkan pada satu fasa tidak mampu menarik kutub rotor.

Setiap langkah ditempuh sejauh $1,8^0$ sehingga untuk sudut yang tidak habis dibagi dengan $1,8^0$ akan menghasilkan langkah dengan nilai desimal. Misal jika akan menempuh sudut 30^0 maka step yang akan dihasilkan berdasarkan perhitungan adalah : $30^0 / 1,8^0 = 16,667$ step. Nilai ini akan dibulatkan menjadi 17 step. Hal ini tentunya menyebabkan tidak akuratnya sudut yang diperoleh, namun nilai kesalahan yang dihasilkan tidak terlalu besar.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Pada motor jenis permanen magnet unipolar dengan mode full step pembangkitan tunggal, resolusi yang dicapai adalah $1,8^0$ per step dengan error pada sudut 360^0 sebesar 0,25 %, sudut 180^0 sebesar 0,67%, sudut 90^0 sebesar 3,66%, sudut 45^0 sebesar 6,68%.

5.2. Saran

Sebagai bahan pengembangan alat lebih lanjut, terdapat beberapa saran dari penulis yang dapat digunakan untuk penyempurnaan alat yang penulis buat :

1. Untuk reset secara hardware dapat ditambahkan dengan menggunakan push button pada rangkaian.
2. Perancangan pengendalian motor stepper ini yaitu pada kondisi motor tidak berbeban, maka diharapkan dapat dilanjutkan pada kondisi motor berbeban.
3. Untuk menghasilkan step yang lebih halus dapat ditambahkan dengan menggunakan mode half step, ataupun mode yang terbaru saat ini yaitu microstepping.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiharto, Widodo. 2004. *Interfacing Komputer dan Mikrokontroler*. Jakarta : Elex Media Komputindo.
- Prasetya, Retna dan Widodo, Catur Edi. 2004. *Interfacing Port Paralel dan Port Serial Komputer dengan Visual Basic 6.0*. Yogyakarta : Andi.
- Christanto, Danny dan Pusporini, Kris. 2004. *Panduan Dasar Mikrokontroler Keluarga MCS-51*. Surabaya : Innovative Electronic.
- Putra, Agfianto Eko. 2003. *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi Edisi 2*. Yogyakarta : Gava Media.
- Sutadi, Dwi. 2003. *I/O Bus dan Motherboard*. Yogyakarta : Andi.
- Jones, Douglas W. 1995. *Control of Stepping Motors*. University of IOWA Departement of Computer Science.
-, "How to Work Stepper Motor", <http://eio.com/jasstep.htm>
-, "ISP Flash Programming " <http://www.kmitl.ac.th/~kswichit/ISP-Pgm3v0/ISP-Pgm3v0.html>
-, "RS-232" , <http://www.lookrs232.com/>