

# Alat Pengukur Telapak Kaki untuk Pembuatan Sepatu

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

GALANT MAHASNA

NIM. 0510632016-63

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2007

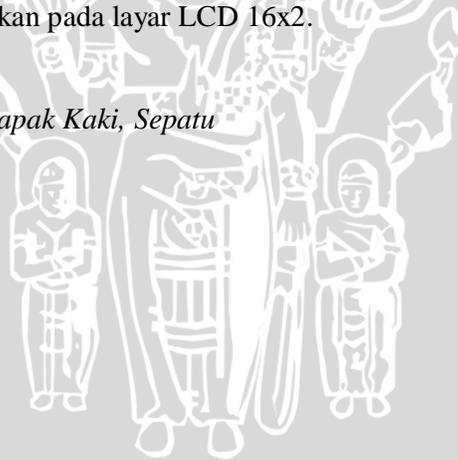
## ABSTRAK

**Galant Mahasna. 0510632016-63. 2007. *Alat Pengukur Telapak Kaki untuk Pembuatan Sepatu*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Pembimbing. Ir. Ponco Siwindarto, MS. Ir. M Julius St. MS.**

Ukuran sepatu yang dipakai tidak boleh terlalu longgar atau sempit. Sepatu yang terlalu sempit dapat membuat kaki melepuh, radang, lecet, dan meningkatkan jumlah keringat. Sedangkan sepatu yang terlalu longgar dapat membuat kaki tergelincir atau cedera. Orang-orang yang kesulitan mendapatkan ukuran sepatu biasanya melakukan pemesanan kepada pengrajin sepatu. Pengukuran telapak kaki sebagai acuan pembuatan sepatu yang dilakukan pengrajin saat ini masih secara konvensional, yaitu dengan cara membuat mal telapak kaki pada kertas dan mengukur hasil mal dengan penggaris. Dalam skripsi ini dirancang alat yang mampu mengukur telapak kaki sehingga mempermudah pekerjaan pengrajin sepatu mengukur telapak kaki.

Tahapan yang dilakukan adalah melakukan perancangan rangkaian motor *stepper*, minimum sistem AT89S51 serta perancangan perangkat lunak untuk menampilkan hasil pengukuran pada penampil LCD. Tahap perancangan berhasil menggerakkan motor *stepper* dan melakukan pengukuran panjang telapak kaki, lebar telapak kaki dan *heel to ball*, dengan resolusi pengukuran 1 milimeter. Hasil pengukuran dapat ditampilkan pada layar LCD 16x2.

***Kata Kunci:* Pengukur Telapak Kaki, Sepatu**



**ABSTRACT**

**Galant Mahasna. 0510632016-63. 2007. *Foot Palm Measurement Device to Make The Shoe*. Final Project Electronic Engineering Majors, Engineer Faculty Brawijaya University. Counsellor. Ir. Ponco Siwindarto, MS. Ir. M. Julius St, MS.**

Shoe size mustn't too tight or diffuse, it causes blister foot and increase the sweat. People who don't get the shoe, usually order to the craftsman. Foot palm measurement as reference making the shoe still conventionally. That is making foot palm's mal and measure with a ruler. In this final project is designed a device to measure foot palm so craftsman's work easier.

Step taken is conducting scheme of motor stepper circuit, minimum system AT89S51 and design software to present measurement result on LCD. Scheme phase success rotate motor stepper and get length, wide, heel to ball measurement with 1 millimeter resolution presented on LCD 16x2.

**Key Word:** *Foot palm measurement, Shoe*



## PENGANTAR

Penulis menyampaikan syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi yang berjudul “Alat Pengukur Telapak Kaki untuk Pembuatan Sepatu“ dapat diselesaikan.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik. Dalam pembuatan skripsi ini penulis mengalami banyak hambatan di antaranya dalam perancangan rangkaian dan pembuatan *software* alat yang dibuat. Akan tetapi hambatan tersebut dapat penulis atasi berkat bantuan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan, kepada:

1. Bapak Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom. selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Ir. Rudy Yuwono, M.Sc. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. Ponco Siwindarto, M.S. selaku pembimbing I.
4. Bapak Ir. M. Julius St. M.S. selaku pembimbing II.
5. Seluruh dosen pengajar Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
6. Seluruh staf karyawan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
7. Teman-teman Seleksi Alih Program angkatan 2005
8. Seluruh mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam pembuatan skripsi ini meskipun sudah dikaji ulang, maka kritik dan saran penulis harapkan. Semoga skripsi ini bermanfaat.

Malang, Agustus 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	viii

### BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Sistematika Penulisan .....	2

### BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengukuran Telapak Kaki .....	4
2.2.1. Pengukuran Panjang Telapak Kaki .....	4
2.2.2. Pengukuran <i>Heel to Ball</i> .....	5
2.2.3. Pengukuran Lebar Telapak Kaki .....	6
2.2.4. Posisi Kaki .....	6
2.2. Arsitektur dan Organisasi Mikrokontroler AT89S51 .....	7
2.2.1. Arsitektur Mikrokontroler AT89S51 .....	7
2.2.2. Organisasi Memori .....	11
2.2.3. Memori Program .....	13
2.2.4. Memori Data .....	14
2.2.5. Register Fungsi Khusus ( <i>SFR</i> ) .....	15
2.2.6. Osilator .....	15
2.2.7. <i>Reset</i> .....	16
2.3. Motor <i>Stepper</i> .....	18
2.4. <i>Liquid Cristal Display</i> (LCD) .....	19
2.5. Transistor Sebagai <i>Switch</i> .....	20

2.6. Osilator Kristal .....	21
-----------------------------	----

**BAB III. METODOLOGI**

3.1. Studi Literatur .....	23
3.2. Perancangan Alat .....	23
3.3. Pembuatan Alat dan Perangkat Lunak .....	23
3.4. Pengujian Alat dan Analisis .....	24
3.5. Kesimpulan .....	24

**BAB IV. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT**

4.1. Penentuan Spesifikasi Alat .....	25
4.2. Diagram Blok Sistem .....	25
4.3. Perancangan Perangkat Keras .....	27
4.3.1. Rangkaian <i>Driver Motor Stepper</i> .....	27
4.3.2. Rangkaian <i>Push-button</i> dan <i>Limitswitch</i> .....	29
4.3.3. Rangkaian Mikrokontroler AT89S51 .....	30
4.3.4. Rangkaian LCD .....	32
4.4. Perancangan Perangkat Lunak .....	34
4.5. Perancangan Mekanik .....	35

**BAB V. PENGUJIAN DAN ANALISIS**

5.1. Pengujian Rangkaian Motor <i>Stepper</i> .....	37
5.2. Pengujian Input <i>Push-button</i> dan <i>Limitswitch</i> .....	38
5.3. Pengujian Tampilan LCD .....	40
5.4. Pengujian Rangkaian Keseluruhan .....	42

**BAB VI. PENUTUP**

6.1. Kesimpulan .....	44
6.2. Saran .....	44

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	45
-----------------------------	----



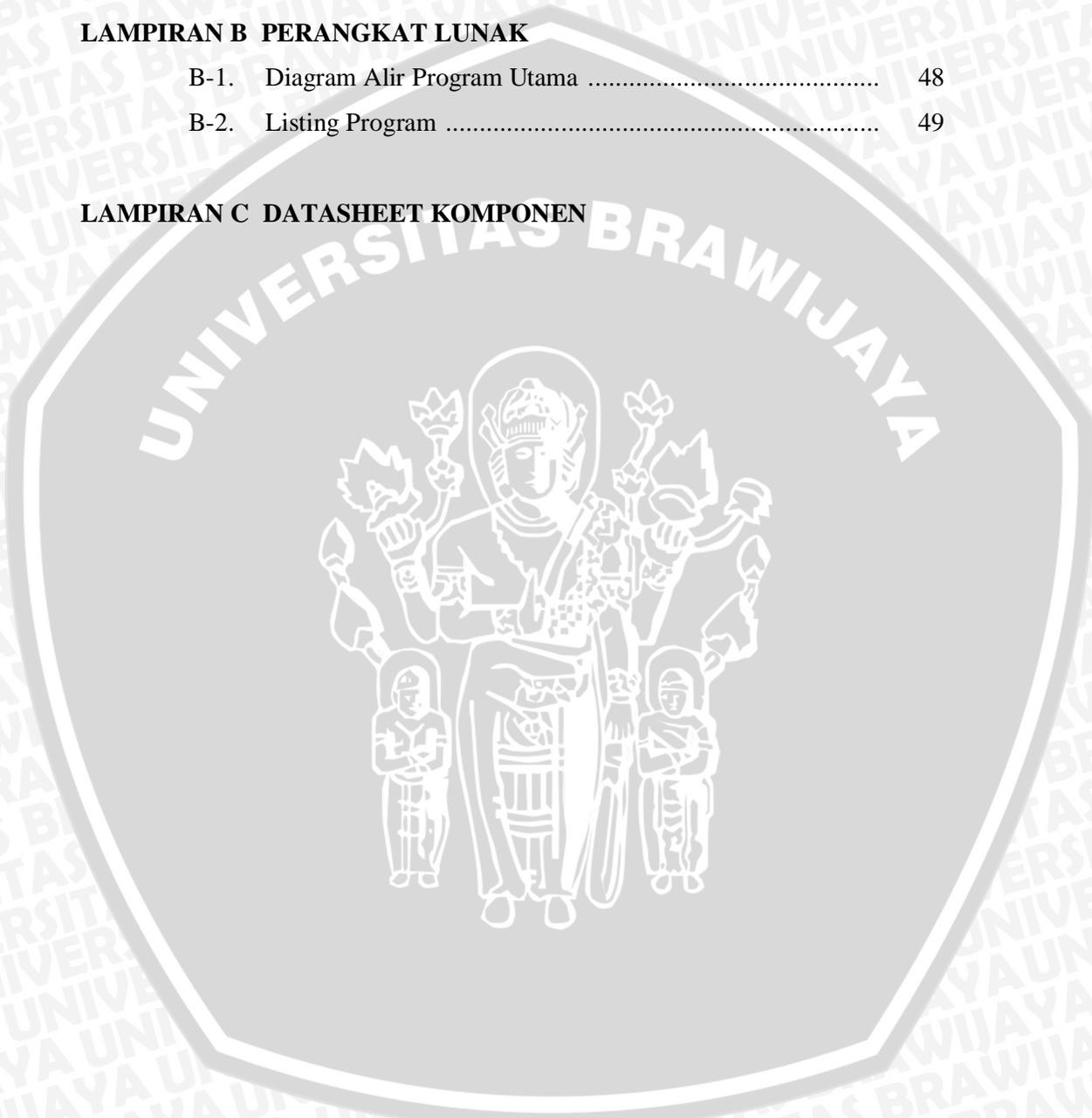
**LAMPIRAN A GAMBAR RANGKAIAN**

A-1. Gambar Rangkaian Keseluruhan..... 46  
A-2. Photo Alat ..... 47

**LAMPIRAN B PERANGKAT LUNAK**

B-1. Diagram Alir Program Utama ..... 48  
B-2. Listing Program ..... 49

**LAMPIRAN C DATASHEET KOMPONEN**

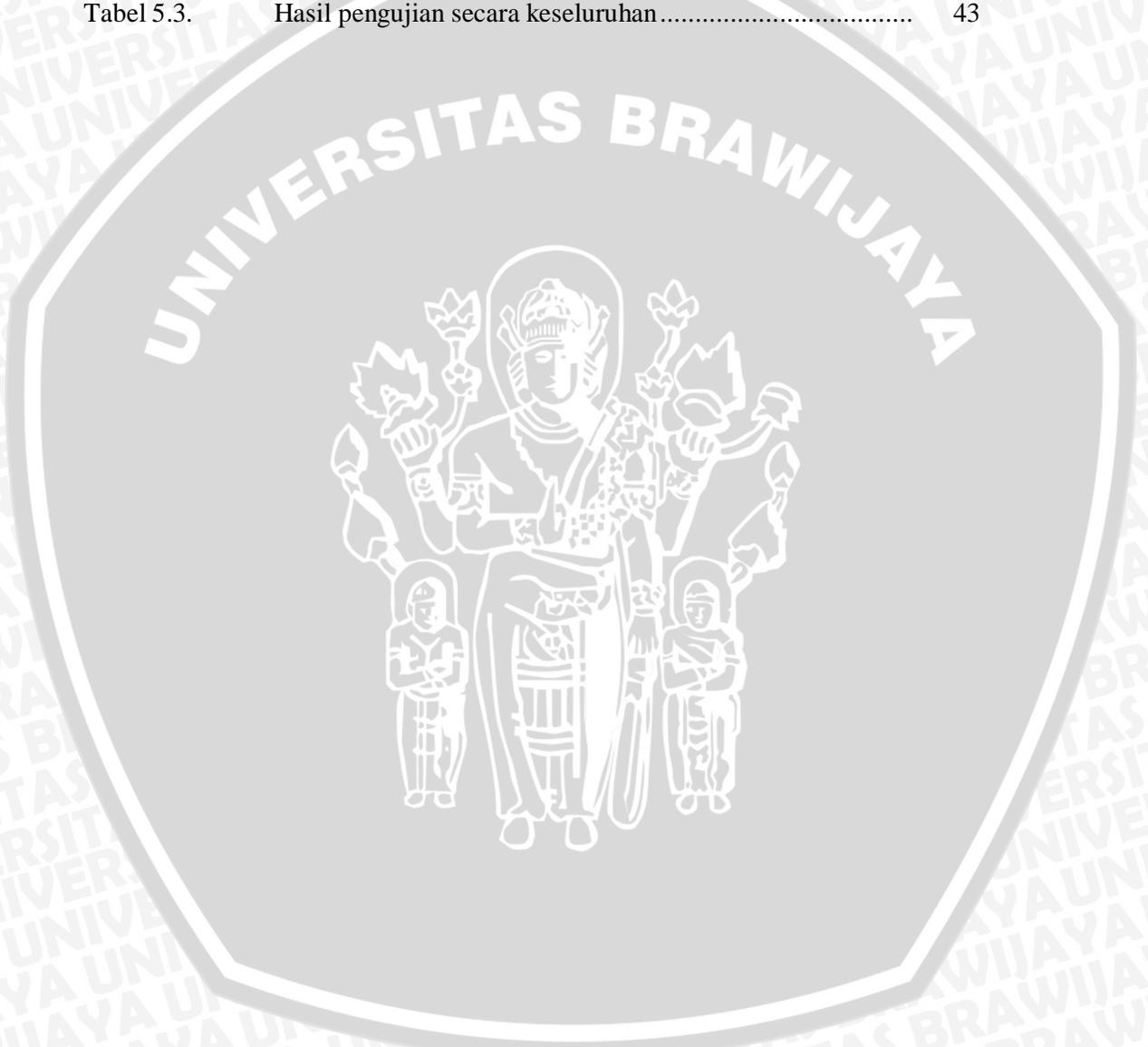


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Pengukuran telapak panjang kaki.....	4
Gambar 2.2.	(a) Letak bola kaki (b) Dua kaki yang berbeda.....	5
Gambar 2.3	Peletakan <i>heel to ball</i> .....	5
Gambar 2.4.	Pengukuran lebar telapak kaki.....	6
Gambar 2.5.	Posisi kaki yang akan diukur.....	6
Gambar 2.6.	Susunan penyemat MCS-51.....	8
Gambar 2.7.	Blok Diagram MCS-51.....	11
Gambar 2.8.	Struktur Memori Mikrokontroler MCS-51.....	12
Gambar 2.9.	Memori Program.....	14
Gambar 2.10.	Memori Data Internal.....	14
Gambar 2.11.	Osilator eksternal.....	16
Gambar 2.12.	Rangkaian <i>power on reset</i> .....	16
Gambar 2.13.	Susunan motor <i>stepper unipolar 2-phase</i> .....	18
Gambar 2.14.	Grafik karakteristik transistor.....	20
Gambar 2.15.	Rangkaian setara kristal.....	21
Gambar 4.1.	Diagram Blok Sistem.....	26
Gambar 4.2.	Rangkaian <i>driver</i> motor <i>stepper</i> .....	28
Gambar 4.3.	Keadaan <i>output low</i> mikrokontroler.....	29
Gambar 4.4.	Blok rangkaian tombol dan <i>limitswitch</i> .....	30
Gambar 4.5.	Rangkaian minimum sistem mikrokontroler AT89S51.....	31
Gambar 4.6.	Rangkaian antarmuka LCD dengan mikrokontroler.....	33
Gambar 4.7.	Diagram alir program utama.....	34
Gambar 4.8.	Gambar mekanik alat.....	36
Gambar 5.1.	Blok diagram pengujian rangkaian motor <i>stepper</i> .....	37
Gambar 5.2.	Blok diagram rangkaian pengujian <i>Limitswitch</i> .....	39
Gambar 5.3.	Blok diagram rangkaian pengujian LCD.....	40
Gambar 5.4.	Hasil tampilan pengujian LCD.....	41
Gambar 5.5.	Skema pengujian rangkaian secara keseluruhan.....	42

### DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Operasi dasar LCD.....	19
Tabel 5.1.	Data hasil pengujian rangkaian motor <i>stepper</i> .....	38
Tabel 5.2.	Data hasil pengujian tombol dan <i>limitswitch</i> .....	40
Tabel 5.3.	Hasil pengujian secara keseluruhan.....	43



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pemilihan ukuran sepatu bukan hal yang sepele, ukuran sepatu harus sesuai dengan ukuran kaki. Sepatu yang baik dapat mengalihkan berat badan ke lantai secara efektif dan memberikan ruang untuk tumbuh kaki. Sepatu juga menjadi fondasi yang baik untuk pertumbuhan tubuh. Oleh karena itu, ukuran sepatu yang dipakai tak boleh terlalu longgar atau terlalu sempit. Sepatu yang terlalu kecil dan sempit bisa membuat kaki melepuh, radang, lecet, dan meningkatkan jumlah keringat. Sedangkan sepatu yang terlalu panjang atau lebar bisa membuat kaki tergelincir atau cedera.

Masalah yang sering muncul ketika membeli sepatu yaitu pembeli harus beberapa kali mencoba ukuran sepatu yang sesuai dengan ukuran kakinya. Hal tersebut disebabkan ukuran sepatu yang ada dipasaran hanya mengacu pada panjang kaki saja. Sehingga ada persoalan ketika seseorang mencoba sepatu merasa bahwa ukuran panjang sepatu pas tetapi lebar sepatu terlalu sempit. Demikian sebaliknya ketika ukuran lebar sepatu pas tetapi panjangnya kurang.

Orang-orang yang kesulitan mendapatkan ukuran sepatu biasanya melakukan pemesanan kepada pengrajin sepatu. Pengrajin akan mengukur kaki pemesan, untuk digunakan sebagai acuan pembuatan sepatu. Pengukuran yang dilakukan pengrajin saat ini masih secara konvensional, yaitu dengan cara membuat mal telapak kaki pada kertas dan mengukur hasil mal dengan penggaris. Cara tersebut kurang efisien, karena pengrajin harus melakukan dua kali pekerjaan untuk mendapatkan hasil pengukuran. Pada tugas akhir ini dibuat sebuah “Alat Pengukur Telapak Kaki” yang dapat memberi kemudahan pengrajin sepatu dalam pengukuran telapak kaki.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Menentukan bagian telapak kaki yang akan diukur.
2. Bagaimana merancang rangkaian elektronika yang dapat mengukur telapak kaki.
3. Bagaimana merancang suatu sistem elektronika yang menggabungkan tiap bagian mulai pengukuran sampai menampilkan hasil pengukuran.
4. Bagaimana merancang perangkat lunak sistem yang terdiri atas inisialisasi program, perhitungan pengukuran dan *output* data.

## 1.3. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat alat pengukur telapak kaki dan menampilkan hasil pengukuran pada *LCD*.

## 1.4. Batasan Masalah

Agar diperoleh pembahasan yang sesuai dengan tujuan yang diharapkan, maka penulis memberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Ukuran telapak kaki berupa: panjang, lebar, dan *heel to ball*.
2. Telapak kaki yang diukur adalah telapak kaki kanan.
3. Digunakan untuk mengukur telapak kaki tidak cacat:  
Panjang : 185 sampai dengan 300 mm.  
Lebar : 70 sampai dengan 120 mm.
4. Hasil pengukuran tidak menunjukkan ukuran sepatu yang akan dibuat.
5. Sistem untuk mengatur rangkaian elektronika mulai awal pengukuran sampai menampilkan hasil pada *LCD* dilakukan melalui mikrokontroler AT89S51.

## 1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- BAB I** : Pendahuluan  
Menjelaskan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.
- BAB II** : Tinjauan Pustaka  
Menjelaskan tentang teori dasar dari piranti-piranti yang digunakan dalam perancangan alat yang meliputi mikrokontroler AT89S51, LCD, motor *stepper*.
- BAB III** : Metodologi  
Menjelaskan tentang tahap-tahap dan metode kajian yang digunakan dalam perencanaan dan pembuatan alat.
- BAB IV** : Perancangan dan Pembuatan Alat  
Meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak untuk kemudian merealisasikannya dalam rangkaian elektronik secara nyata.
- BAB V** : Pengujian dan Analisis  
Menjelaskan tentang pengujian alat serta analisis perhitungan berdasarkan teori yang ada.
- BAB VI** : Penutup  
Berisikan kesimpulan serta saran terhadap alat secara keseluruhan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

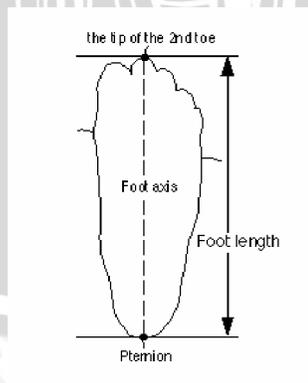
Untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan pembuatan alat ini, maka perlu penjelasan uraian-uraian teori penunjang yang digunakan dalam penulisan skripsi ini. Teori yang akan dibahas sebagai penunjang dalam penulisan skripsi ini antara lain: bagaimana cara pengukuran telapak kaki, motor *stepper* dan *driver* yang digunakan untuk pengukuran panjang, lebar, dan *heel to ball* telapak kaki. Dibahas juga dasar teori tentang mikrokontroler AT89S51 sebagai pusat pengolah dan kendali sistem dan *Liquid Cristal Display* (LCD) yang digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran.

#### 2.1. Pengukuran Telapak Kaki

Pengukuran telapak kaki yang dimaksud adalah pengukuran panjang telapak kaki, lebar telapak kaki dan pengukuran panjang *heel to ball*.

##### 2.1.1. Pengukuran Panjang Telapak Kaki

Panjang telapak kaki adalah jarak antara *Pternion* (titik yang paling belakang dari tumit) dan ujung jari kaki yang terpanjang terukur paralel pada poros kaki. Poros kaki adalah garis yang menghubungkan *Pternion* dan ujung jari kaki kedua. Gambar 2.1. menunjukkan pengukuran panjang telapak kaki.

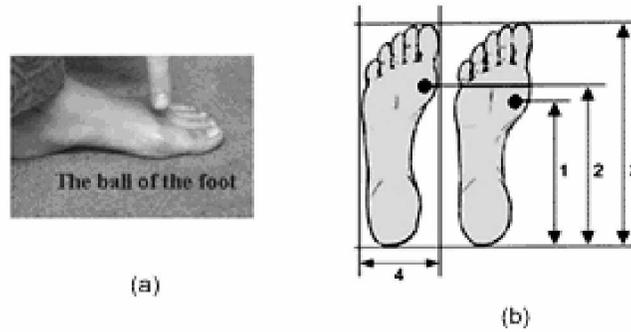


Gambar 2.1. Pengukuran panjang telapak kaki.

Sumber: <http://www.dh.aist.go.jp>

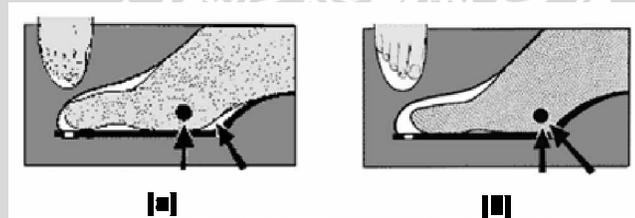
### 2.1.2. Pengukuran *Heel to Ball*

*Heel to ball* adalah jarak antara ujung tumit dan bola kaki (tulang *Metatarsale tibiale*). Gambar 2.2. menunjukkan dua telapak kaki yang mempunyai panjang sama, tetapi berbeda panjang *heel to ball*. Gambar 2.2. menunjukkan dua telapak kaki yang sama panjang tetapi berbeda *heel to ball*.



Gambar 2.2. (a) Letak bola kaki (b) Dua kaki yang berbeda.

Sumber: <http://www.Brannock Device.com>



Gambar 2.3. (a) Tidak memperhatikan letak *heel-to-ball*.

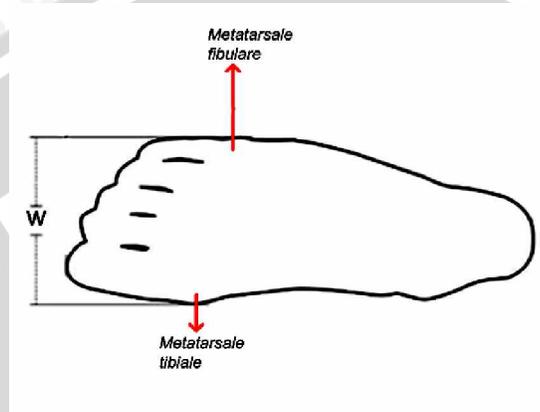
(b) Memperhatikan letak *heel-to-ball*.

Sumber: <http://www.Brannock Device.com>

Pengukuran sepatu dan peletakan lengkung kaki yang tidak tepat dapat menyebabkan berbagai permasalahan kaki dan menyebabkan kaki cepat lelah. Gambar 2.3. (b) adalah pengukuran yang tepat, dimana lengkung sepatu dan lengkung kaki berada pada titik yang sama. Kaki dan sepatu menekuk di titik yang sama, dengan lengkung yang secara penuh mendukung, membiarkan jari kaki tetap lurus.

### 2.1.3. Pengukuran Lebar Telapak Kaki

Lebar telapak kaki diukur sedemikian hingga melewati *Metatarsale tibiale* dan *Metatarsale fibulare*. *Metatarsale tibiale* adalah bagian paling menonjol dari tulang telapak kaki sedangkan *Metatarsale fibulare* adalah bagian paling menyemping dari tulang kelima telapak kaki, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.4.

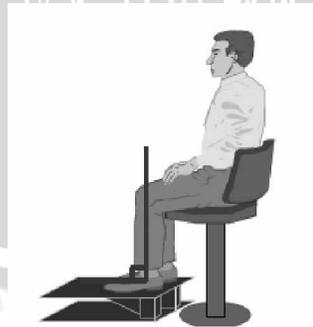


Gambar 2.4. Pengukuran lebar telapak kaki.

Sumber: [www.DanceShoesOnLine.com](http://www.DanceShoesOnLine.com)

### 2.1.4. Posisi Kaki

Posisi orang yang akan diukur kakinya adalah berdiri dengan berat atau beban yang sama diatas kedua kakinya untuk memastikan bahwa kaki yang akan diukur pada ukuran yang maksimum. Tumit menumpu pada alas dan posisi kaki membentuk sudut 90 derajat (terhadap lantai), seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Posisi kaki yang akan diukur.

Sumber: Ravindra G., 2006

## 2.2. Arsitektur dan Organisasi Mikrokontroler AT89S51

Sebuah mikroprosesor, bila dikombinasikan dengan I/O dan memori akan menghasilkan sebuah mikrokomputer. Pada kenyataannya pengkombinasian CPU dengan memori dan I/O dapat juga dilakukan pada level chip, yang menghasilkan Single Chip Microcomputer (SCM). Untuk membedakannya dengan dengan microcomputer untuk selanjutnya, SCM disebut mikrokontroler. Mikrokontroler banyak sekali macam dan jenis produksinya karena kebutuhan konsumen dan ciptaan industri pembuat.

### 2.2.1. Arsitektur Mikrokontroler AT89S51

Mikrokontroler AT89S51 adalah komponen produksi Atmel yang berorientasi pada kontrol dengan level logika CMOS, merupakan keluarga MCS-51. Rangkaian integrasi tersebut memiliki perlengkapan dasar sebagai *Single Chip Microcomputer*. Perlengkapan yang dimaksud adalah:

CPU (*Central Processing Unit*) terdiri atas komponen yang satu sama lain berhubungan, yaitu Register, ALU (*Arithmetic Logic Unit*), dan Unit Pengendali. Komponen-komponen tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda.

- Register sebagai memori sementara di dalam CPU. Beberapa register berfungsi tertentu seperti *program counter*, dan yang lain bersifat lebih umum seperti *accumulator*.
- ALU (*Arithmetic Logic Unit*).  
ALU menjalankan operasi aritmatika dan logika dengan bilangan-bilangan biner. Dalam keluarga MCS-51 operasi ALU datanya terbatas pada jumlah bilangan biner 8 bit.
- Unit Pengendali.  
Unit Pengendali digunakan untuk menyerempakkan kerja yang sangat diperlukan oleh setiap processor. Sebuah instruksi diambil dan didekode, setelah prosesor mengetahui apa yang dimaksud instruksi maka unit pengendali memberikan sinyal pada aksi yang dimaksud.

Mikrokontroler AT89S51 di atas memiliki beberapa kemampuan yang dapat dipakai oleh pengguna, adapun kemampuan yang dimaksud adalah:

- Ø *Flash* program memori ROM internal sebesar 4 Kbyte. Dengan flash PROM ini menyebabkan mikrokontroler mampu diprogram dan dihapus hingga 1000 kali.
- Ø Memori data RAM internal sebesar 128 byte.
- Ø Kemampuan kerja *clock* internal dari 0 hingga 24MHz.
- Ø 4 buah I/O masing-masing 8 bit.
- Ø Kemampuan mengamati memori program dan data maksimum 64Kbyte eksternal.
- Ø 2 buah *timer/counter* yang bisa dipakai hingga 16 bit.
- Ø 2 buah tingkat prioritas interupsi.
- Ø 5 buah interupsi, yaitu 2 interupsi eksternal dan 3 interupsi internal.
- Ø *Port serial full duplex* UART (*Universal Asincronous Receive Transmit*).
- Ø Dapat diprogram perbit. Sehingga pemrograman akan lebih leluasa dan efektif.

Mikrokontroler AT89S51 mempunyai 40 pin, susunan masing-masing pin dapat dilihat dalam Gambar 2.6. Masing-masing kaki dalam mikrokontroler AT89S51 tersebut mempunyai fungsi tersendiri. Dengan mengetahui fungsi masing-masing kaki mikrokontroler AT89S51, perancangan aplikasi mikrokontroler AT89S51 akan lebih mudah dalam merencanakan dan membuat sistemnya.

P1.0	1	40	VCC
P1.1	2	38	P0.0 (AD0)
P1.2	3	36	P0.1 (AD1)
P1.3	4	37	P0.2 (AD2)
P1.4	5	35	P0.3 (AD3)
(MOS) P1.5	6	34	P0.4 (AD4)
(MISO) P1.6	7	33	P0.5 (AD5)
(SCK) P1.7	8	32	P0.6 (AD6)
RST	9	31	P0.7 (AD7)
(RXD) P3.0	10	30	EA/VPP
(TXD) P3.1	11	29	ALE/PROG
(INT0) P3.2	12	28	PSEN
(INT1) P3.3	13	27	P2.7 (A15)
(T0) P3.4	14	26	P2.6 (A14)
(T1) P3.5	15	25	P2.5 (A13)
(WR) P3.6	16	24	P2.4 (A12)
(RD) P3.7	17	23	P2.3 (A11)
XTAL2	18	22	P2.2 (A10)
XTAL1	19	21	P2.1 (A9)
GND	20		P2.0 (A8)

Section 1.01 Gambar 2.6. Susunan penyemat MCS-51

Sumber: AT89S51 Data Sheets, 2003: 2

Fungsi kaki-kaki AT89S51 adalah:

- ✓ Port 1 (Pin 1...8)  
Merupakan port I/O 8 bit bidireksional dengan internal *pull-up* resistor. Port ini dipakai alamat bagian bawah selama pemrograman dan verifikasi flash memori. Port ini bias digunakan untuk operasi per bit atau byte.
- ✓ Pin 9 (RST)  
Pulsa transisi dari rendah ke tinggi yang diumpankan ke pin RST akan mereset AT89S51. Pin ini dihubungkan dengan rangkaian *power on reset*.
- ✓ Port 3 (Pin 10...17)  
Port paralel 8 bit dua arah yang memiliki fungsi pengganti. Fungsi pengganti meliputi TXD (*Transmit Data*), RXD (*Receive Data*), INT0 (*Interrupt 0*), INT1 (*Interrupt 1*), T0 (*Timer 0*), T1 (*Timer 1*), WR (*Write*), RD (*Read*). Apabila fungsi pengganti tidak digunakan, pin-pin ini dapat digunakan sebagai port I/O biasa.
- ✓ Pin 18 (XTAL1)  
Merupakan pin masukan ke rangkaian osilator internal. Osilator kristal dan sumber osilator luar dapat digunakan.
- ✓ Pin 19 (XTAL2)  
Merupakan pin masukan ke rangkaian osilator internal. Pin ini dipakai bila menggunakan osilator kristal.
- ✓ Pin 20 (*Ground*), dihubungkan ke VSS atau *ground*.
- ✓ Port 2 (Pin 21...28)  
Merupakan port I/O 8 bit bidireksional dengan internal *pull-up*. Port 2 mengeluarkan alamat bagian atas selama mengakses memori luar, untuk itu jika digabungkan antara alamat bagian bawah dan atas akan mampu mengalami hingga 16 bit. Port ini juga memberikan sinyal kontrol untuk pemrograman flash memori dan verifikasi.
- ✓ Pin 29 (*PSEN/Program Store Enable*)  
Merupakan pengontrol yang digunakan untuk mengakses program memori eksternal masuk ke dalam bus selama proses pemberian/pengambilan instruksi.

- ✓ Pin 30 (ALE)

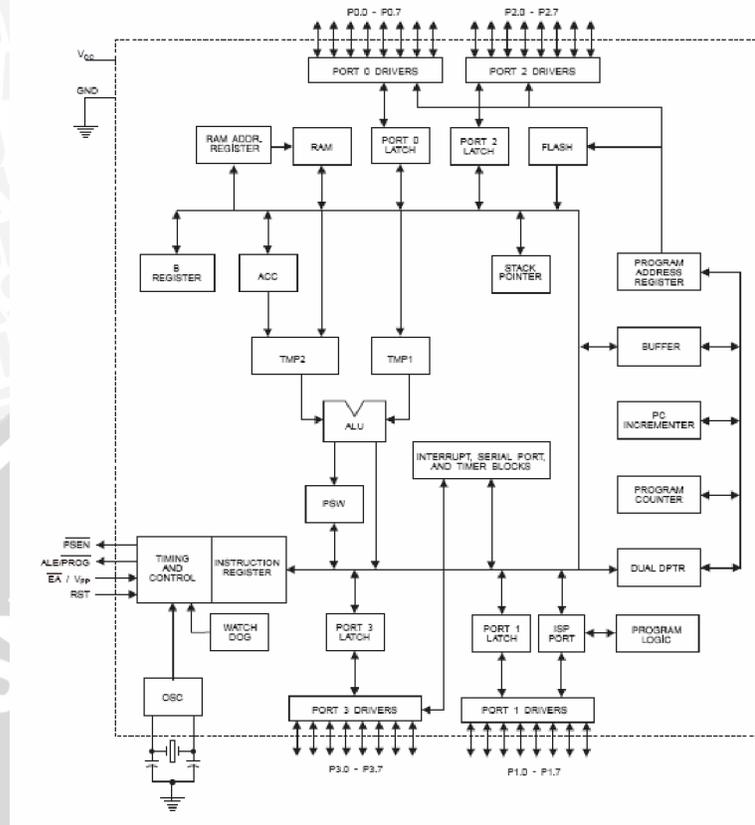
Pin ALE aktif tinggi untuk mengeluarkan pulsa output dan untuk menyimpan alamat byte bagian bawah ke eksternal *latch*. Pin ini juga digunakan untuk pulsa input pemrograman *flash* memori. Pada pengoperasian normal, sinyal ALE dikeluarkan secara konstan setiap 1,6 frekuensi osilator, yang dapat digunakan sebagai pewaktu / sumber *clock* bagi piranti eksternal. Sinyal ALE dapat dimatikan saat mode operasi internal dilakukan. Mematikan sinyal ALE dilakukan dengan mengeset bit 0 pada lokasi SFR alamat 8EH. Bila bit tersebut diset, sinyal ALE hanya aktif saat terdapat instruksi MOVX atau MOVC. Pin 31 (EA), bila pin diberikan logika tinggi, maka mikrokontroler akan melaksanakan instruksi dari ROM/EPROM. Bila diberikan logika rendah, mikrokontroler akan melaksanakan instruksi dari memori program luar.

- ✓ Port 0 (Pin 32...39)

Port 0 dalam konfigurasi open drain, bidireksional I/O port. Port ini digunakan sebagai data bus selama pemrograman dan verifikasi flash EPROM dan dapat digunakan sebagai input impedansi tinggi. Port ini juga dimultipleks alamat bagian bawah yang digunakan selama pengaksesan ke memori luar. Pada port ini sudah terpasang internal pull up resistor.

- ✓ Pin 40 (VCC), dihubungkan ke VCC

Blok diagram MCS-51 ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Blok Diagram MCS-51.

Sumber: AT89S51 Data Sheets, 2003: 3

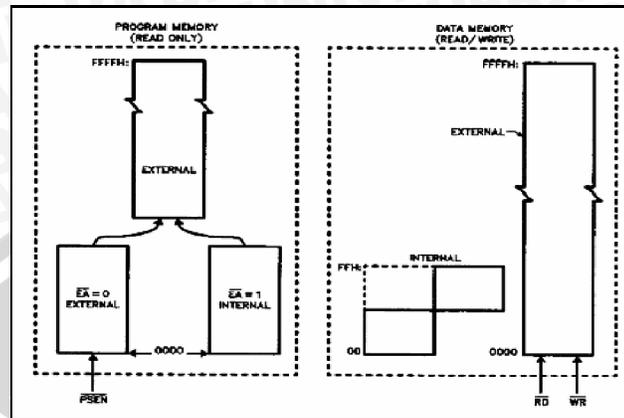
### 2.2.2. Organisasi Memori

Mikrokontroler AT89S51 memiliki organisasi memori yang dapat dibagi-bagi menjadi bagian-bagian sesuai dengan kemampuannya. Pembagian tersebut adalah:

- § 64 Kbyte memori data dan program diluar *chip*
- § 256 byte memori data di dalam *chip*
- § 4 Kbyte memori program di dalam *chip*
- § 16 bit program *counter*

Selain itu juga memiliki pembagian ruang alamat untuk memori program dan memori data. Memori program dan data yang terpisah dapat dilihat dalam Gambar 2.8. Pemisahan memori program dan memori data membolehkan memori data untuk diakses oleh alamat 8-bit. Sekalipun demikian, alamat data memori 16 bit dapat dihasilkan melalui register DPTR (*data pointer register*). Memori

program hanya dapat dibaca, tidak bisa ditulisi (karena disimpan dalam EPROM). Memori program sebesar 64k dapat dimasukkan dalam EPROM eksternal.



Gambar 2.8. Struktur Memori Mikrokontroler MCS-51

a) Sumber : Agfianto Eko Putra, 2002: 3

Gambar di atas dapat dijelaskan bahwa pemakaian memori eksternal dapat diakses langsung hingga 64Kbyte. Pada memori program, alamat-alamat paling bawah dapat berada dalam *Flash on-chip* maupun memori eksternal. Hal tersebut dapat diatur dengan melakukan pengkabelan pada pin  $\overline{EA}$  (*External Acces*). Menghubungkan pin  $\overline{EA}$  ke Vcc menyebabkan akses internal, sedangkan akses eksternal bila pin  $\overline{EA}$  dihubungkan ke GND pada alamat-alamat paling bawah. Sebagai contoh, AT89C51 dengan *Flash on-chip* sebesar 4Kbyte, jika  $\overline{EA}$  dihubungkan ke Vcc maka pengambilan instruksi pada lokasi 0000h hingga 0FFFh untuk memori internal dan 1000h hingga FFFFh untuk memori eksternal. Sedangkan jika  $\overline{EA}$  dihubungkan ke GND maka semua pengambilan instruksi langsung dilakukan pada memori eksternal. Pin  $\overline{PSEN}$  (*program store enable*) digunakan untuk semua pengambilan program eksternal, sedangkan pengaksesan instruksi pada memori internal tidak melibatkan  $\overline{PSEN}$ .

Pada memori data penggunaan memori eksternal dapat diakses secara langsung hingga 64 Kbyte dalam ruang memori data eksternal. CPU akan

memberikan sinyal baca ( $\overline{RD}$ ) dan tulis ( $\overline{WR}$ ) sesuai kebutuhan selama pengaksesan memori data eksternal.

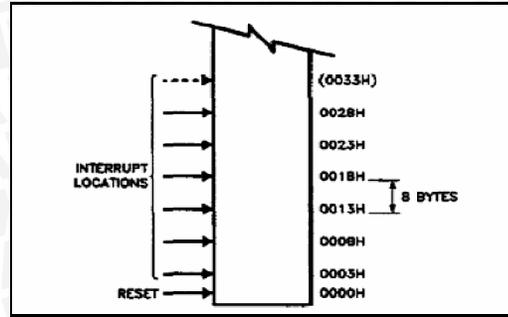
Mikrokontroler AT89S51 memiliki 5 buah ruang alamat, yaitu:

1. Ruang alamat kode (*code address space*) sebanyak 64k, yang seluruhnya merupakan ruang alamat kode eksternal (*off-chip*).
2. Ruang alamat data internal yang dapat dialamati secara langsung, yang terdiri atas:
  - Ø RAM (*Random Access Memori*) sebanyak 128 byte.
  - Ø *Hardware register* sebanyak 128 byte.
  - Ø EEPROM sebanyak 4k byte.
3. Ruang alamat data internal yang dialamati secara tidak langsung sebanyak 128 byte, seluruhnya diakses dengan pengalamatan tidak langsung.
4. Ruang alamat data eksternal sebanyak 64Kbyte (*off-chip*) yang dapat ditambahkan oleh pemakai.
5. Ruang alamat bit, dapat diakses dengan pengalamatan langsung.

### 2.2.3. Memori Program

Memori program merupakan tempat penyimpanan data yang bersifat permanen atau *non volatile* yang artinya data yang ada di dalam memori tidak akan hilang jika catu daya dimatikan. Memori program merupakan memori yang hanya dapat dibaca atau lebih dikenal dengan nama ROM (*Read Only Memory*).

Keadaan memori setelah reset atau sewaktu power ON adalah bertempat di alamat 0000H yang kemudian dilanjutkan mengeksekusi instruksi apa yang ada didalam memori. Selain pada reset yang berlokasi di 0000H, interupsi juga mempunyai lokasi tetap di memori program. Interupsi tersebutlah yang menyebabkan CPU melompat ke lokasi di mana pada lokasi tersebut terdapat sub-rutin yang harus dilaksanakan. Bagian bawah dari memori program dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



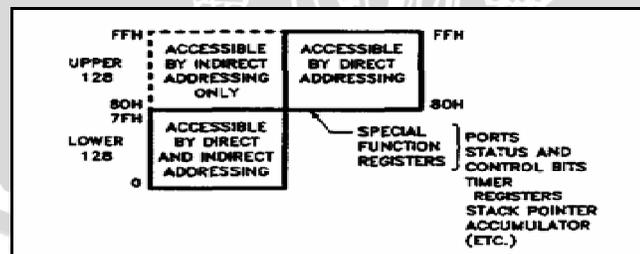
Gambar 2.9. Memori Program

b) Sumber : Agfianto Eko P, 2002: 4

### 2.2.4. Memori Data

Memori data adalah tempat untuk menyimpan data yang sifatnya sementara sehingga pada memori data dapat dikategorikan memori volatile, yaitu data masih ada selama catu daya masih ada. Memori data lebih dikenal dengan nama RAM (*Random Acces Memory*) yaitu memori yang dapat dibaca dan ditulisi data pada alamat yang dikehendaki. Memori data pada AT89S51 memiliki kemampuan pengalamatan hingga 64 Kbyte yang didapatkan dari memori data eksternal.

Selain menggunakan memori eksternal, AT 89S51 juga mempunyai 128 byte memori internal dengan sejumlah register berfungsi khusus atau *Special Function Register* (SFR). Pada mikrokontroler AT 89S51 memori data internal dipetakan seperti dalam Gambar 2.10. Ruang memorinya dibagi menjadi tiga blok, yaitu sebagai *lower 128*, *upper 128*, dan ruang SFR (*special function register*).



Gambar 2.10. Memori Data Internal

Sumber : Agfianto Eko P, 2002: 6

### 2.2.5. Register Fungsi Khusus (*Special Function Register*)

Register fungsi khusus (*Special Function Register*, SFR) terletak pada 128 *byte* bagian atas memori data internal. Wilayah SFR ini terletak pada alamat 80<sub>H</sub> sampai FF<sub>H</sub>. Register-register ini hanya dapat diakses dengan pengalamatan langsung, baik per bit maupun per *byte*.

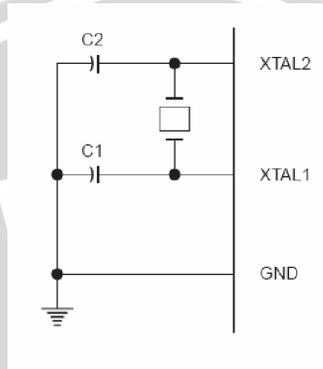
Beberapa kegunaan register fungsi khusus, yang penting dijelaskan sebagai berikut:

- Ø *Accumulator* (ACC): merupakan register penting dalam operasi penambahan dan pengurangan.
- Ø Register B: merupakan register khusus yang berfungsi melayani operasi perkalian dan operasi pembagian.
- Ø *Program Status Word* (PSW): berisi beberapa bit status yang menggambarkan keadaan CPU pada saat itu. PSW terdiri atas bit *carry*, *auxiliary carry*, dua bit pemilih *bank*, bendera *overflow*, bit paritas dan dua bendera yang dapat didefinisikan sendiri oleh pemakai.
- Ø *Stack Pointer* (SP): merupakan register 8-bit. Register SP dapat diletakkan pada alamat manapun pada RAM internal. Isi register ini ditambah sebelum data disimpan, selama instruksi *PUSH* dan *CALL*. Pada saat *reset*, register SP diinisialisasi pada alamat 07h, sehingga *stack* akan dimulai pada lokasi 08h.
- Ø *Data Pointer* (DPTR): terdiri atas dua register, yaitu untuk byte tinggi (*Data Pointer High*, DPH) dan untuk byte rendah (*Data Pointer Low*, DPL). Fungsinya dimaksudkan untuk menahan alamat 16-bit. DPTR dapat dimanipulasi sebagai register 16-bit atau sebagai dua buah register 8-bit.
- Ø Port 0 sampai Port 3: merupakan register yang berfungsi untuk membaca dan mengeluarkan data pada port 0, 1, 2, dan 3. Masing-masing register ini dapat dialamati secara per-bit maupun per-byte.

### 2.2.6. Osilator

Mikrokontroler AT89S51 memiliki osilator internal (*on chip oscillator*) yang dapat digunakan sebagai sumber pewaktuan (*clock*) bagi CPU. Untuk menggunakan internal diperlukan sebuah kristal atau resonator keramik antara pin

XTAL1 dan pin XTAL2 dan sebuah kapasitor ke *ground*. Untuk kristalnya dapat digunakan dengan frekuensi dari 6 sampai 12 MHz, sedangkan kapasitor dapat bernilai 27 pF sampai 33 pF. Gambar 2.11. menunjukkan rangkaian osilator eksternal.

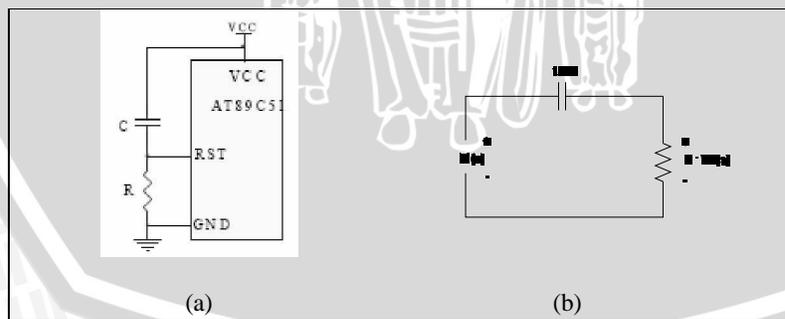


Gambar 2.11. Osilator eksternal

Sumber: AT89S51 Data Sheets, 2003: 11

**2.2.7. Reset**

Rangkaian *power on reset* diperlukan untuk mereset mikrokontroler secara otomatis setiap catu daya *on*. Gambar 2.12. menunjukkan rangkaian *power on reset*. Ketika catu daya diaktifkan, rangkaian *reset* menahan logika tinggi pin RST dengan jangka waktu yang ditentukan oleh besarnya pengisian muatan C, yang mana nilai jangka waktunya dihitung dengan Persamaan 2.1.



Gambar 2.12. (a) Rangkaian *power on reset*

(b) Rangkaian ekuivalen *power on reset*

Sumber: Atmel, 1997: 2-63

Dalam rangkaian ekivalen seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.10 (b) maka didapat:

$$V_o(s) = \frac{R}{R + \frac{1}{Cs}} \cdot V_i(s) = \frac{RCs}{RCs + 1} \cdot V_i(s) \quad (2.1)$$

$V_i$  adalah tegangan  $V_{cc}$  yaitu 5V, dalam fungsi Laplace adalah  $5/s$

$$V_o = \frac{RCs}{RCs + 1} \cdot \frac{5}{s} = \frac{RC}{RCs + 1} \cdot 5 = 5 \cdot \left( \frac{1}{s + \frac{1}{RC}} \right) \quad (2.2)$$

$$V_o = 5 \cdot e^{-\left(\frac{t}{RC}\right)} \quad (2.2)$$

$$\frac{5}{V_o(t)} = e^{\frac{t}{RC}}$$

$$\ln\left(\frac{5}{V_o}\right) = \frac{t}{RC}$$

maka

$$t = R \cdot C \cdot \left( \ln \frac{5}{V_o} \right) \quad \text{atau} \quad t = R \cdot C \cdot \frac{\left( \log \frac{5}{V_o} \right)}{\log e} \quad (2.3)$$

$V_o$  adalah tegangan logika nominal yang diijinkan oleh pin RST

$$V_o = 0,7 \times V_{cc} = 0,7 \times 5 \text{ volt} = 3,5 \text{ volt.}$$

maka

$$t = R \cdot C \cdot \frac{\left( \log \frac{5}{3,5} \right)}{\log e}$$

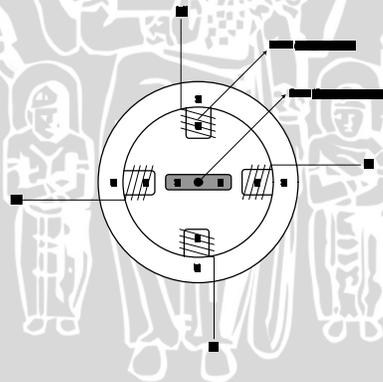
$$t = 0,357 \cdot R \cdot C \quad (2.4)$$

Untuk memastikan keabsahan *reset*, logika tinggi harus ditahan lebih dari 2 siklus mesin (24 periode osilator).

### 2.3. Motor Stepper

Prinsip kerja dari motor *stepper* adalah pada saat sebuah balok besi atau magnet tetap yang disebut *rotor* tertahan pada suatu medan magnet, balok besi atau magnet tetap tersebut diatur posisinya sesuai arah medan magnet. Pada saat medan magnet berubah dengan adanya pulsa, *rotor* akan bergerak dengan sudut putar tertentu untuk menyesuaikan diri dengan medan magnet baru. Pertambahan pergerakan angular dari rotor yang disebabkan oleh satu pulsa disebut sebagai sudut langkah (*step angle*) atau resolusi. Sudut langkah yang biasa digunakan pada motor *stepper* adalah antara  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ .

Apabila kumparan *stator* diberikan pulsa maka akan menimbulkan medan magnet. Medan magnet yang terjadi pada kumparan *stator* dengan kutub permanen *rotor* yang bersifat berlawanan (kutub utara *stator* menarik kutub selatan *rotor*). Untuk mengatur kecepatan motor *stepper* dilakukan dengan cara mengatur selang waktu pemberian pulsa pada kumparan *stator*. Cara pemberian pulsa pada motor *stepper unipolar 2-phase* yang ditunjukkan dalam Gambar 2.13. adalah sebagai berikut:



Gambar 2.13. Susunan motor *stepper unipolar 2-phase*

Sumber: Douglas W. Jhon, 2002

1. Memberikan arus listrik pada kumparan satu persatu (X, Y, X', Y' dan seterusnya). Cara ini memberikan langkah penuh (full step) pada motor *stepper*.

2. Memberikan arus pada dua kumparan secara bergantian ( $X+Y$ ,  $Y+X'$ ,  $X'+Y'$ ,  $Y'+X$  dan seterusnya).
3. Gabungan dari dua cara di atas akan memberikan langkah setengah penuh (half step) yaitu dengan memberikan pulsa ( $X$ ,  $X+Y$ ,  $Y$ ,  $Y+X'$ ,  $X'$ ,  $X'+Y'$ ,  $Y'$ ,  $Y'+X$  dan seterusnya).

#### 2.4. Liquid Cristal Display (LCD)

*Liquid Crystal Display* merupakan suatu bentuk kristal cair yang akan beremulsi jika dikenakan tegangan kepadanya. Penggunaan LCD ini memiliki beberapa keuntungan di antaranya adalah :

- a. Dapat menampilkan data karakter ASCII , sehingga memudahkan untuk membuat program tampilannya.
- b. Mudah di hubungkan dengan *port* I/O , karena hanya menggunakan 8 bit data dan 3 bit kontrol.
- c. Ukuran dari modul yang proporsional.

LCD yang digunakan adalah tipe karakter  $2 \times 16$  baris. LCD ini dapat menampilkan 16 karakter perbaris dan mempunyai ROM pembangkit karakter sebanyak 129 tipe karakter dengan ukuran  $5 \times 7$  *dot matrik*. Kapasitas RAM internalnya sebanyak  $80 \times 8$  bit data ( $40 \times 8$  bit per barisnya). Untuk alamat masing-masing barisnya sebagai berikut:

- a. Baris 1, alamat 00h sampai 0Fh.
- b. Baris 2, alamat 40h sampai 4Fh.

Operasi dasar LCD terdiri dari empat kondisi yaitu instruksi mengakses proses internal, menulis data, instruksi membaca kondisi sibuk dan instruksi membaca data. Tabel 2.1. menunjukkan operasi dasar LCD.

Tabel 2.1. Operasi dasar LCD

RS	RW	OPERASI LCD
0	0	Input instruksi ke LCD
0	1	Baca status flag
1	0	Penulisan data
1	1	Baca data dari LCD

Sumber: <http://www.elektro-indonesia.com>

## 2.5. Transistor Sebagai Switch

Menggunakan transistor sebagai sebuah *switch* berarti meletakkan titik kerja pada titik saturasi atau titik *cut off*. Titik sumbat (*cut off*) adalah titik dimana garis beban memotong kurva  $I_B=0$ . Pada titik ini arus basis adalah nol dan arus kolektor kecil mendekati nol atau dapat dikatakan tidak ada arus melewati transistor. Sehingga bekerja seperti saklar terbuka. Gambar 2.14. menunjukkan perpotongan dari garis beban dan kurva basis yang lebih tinggi masih menghasilkan titik kejenuhan yang sama. Untuk perkiraan aproksimasi tegangan kolektor-emiter adalah:

$$V_{ce}(cutoff) = V_{cc} \quad (2.5)$$

Perpotongan dari garis beban dan kurva  $I_B = I_B (sat)$  disebut penjenuhan (saturasi). Pada titik ini arus basis sama dengan  $I_B (sat)$  dan arus kolektor adalah maksimum. Sehingga transistor bekerja seperti saklar tertutup. Untuk perkiraan aproksimasi, arus kolektor pada penjenuhan adalah:

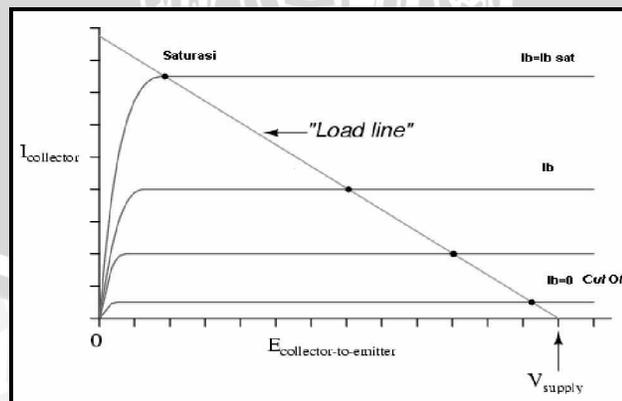
$$I_{C(sat)} \cong \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (2.6)$$

Dan arus basis yang tepat menimbulkan penjenuhan adalah sebagai berikut:

$$I_{B(Sat)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{dc}} \quad (2.7)$$

Tegangan kolektor-emiter pada penjenuhan adalah

$$V_{CE} = V_{CE(sat)} \quad (2.8)$$



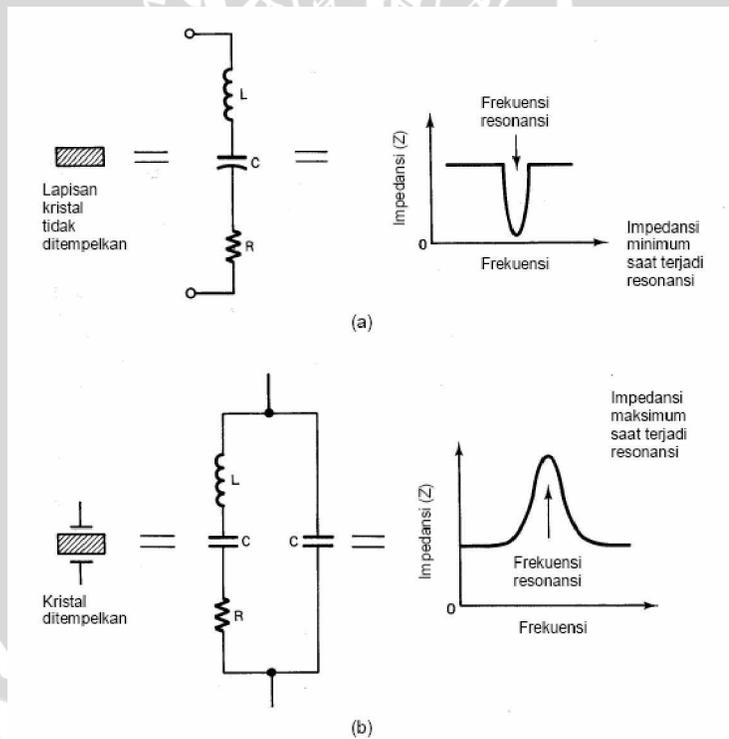
Gambar 2.14. Grafik karakteristik transistor

Sumber: Malvino, 1996: 122

## 2.6. Osilator Kristal

Kristal osilator digunakan untuk menghasilkan isyarat dengan tingkat kestabilan frekuensi yang sangat tinggi. Kristal pada osilator ini terbuat dari *quartz* atau *Rochelle salt* dengan kualitas yang baik. Material ini memiliki kemampuan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa getaran atau sebaliknya. Kemampuan ini lebih dikenal dengan *piezoelectric effect*.

Kristal untuk osilator ini dilekatkan di antara dua pelat logam. Kontak dibuat pada masing-masing permukaan kristal oleh pelat logam ini kemudian diletakkan pada suatu wadah. Kedua pelat dihubungkan ke rangkaian melalui soket. Pada osilator ini, kristal berperilaku sebagai rangkaian resonansi seri. Kristal seolah-olah memiliki induktansi ( $L$ ), kapasitansi ( $C$ ) dan resistansi ( $R$ ). Gambar 2.15-a memperlihatkan rangkaian setara dari bagian ini. Harga  $L$  ditentukan oleh massa kristal, harga  $C$  ditentukan oleh kemampuannya berubah secara mekanik dan  $R$  berhubungan dengan gesekan mekanik.



Gambar 2.15. Rangkaian setara kristal : (a) Resonansi seri (b) Resonansi paralel.

Rangkaian setara resonansi seri akan berubah jika kristal ditempatkan pada suatu wadah atau “pemegang”. Kapasitansi akibat adanya keping logam akan terhubung paralel dengan rangkaian setara kristal. Gambar 2.15-b memperlihatkan rangkaian setara kristal yang dilekatkan pada pemegang. Jadi pada hal ini kristal memiliki kemampuan untuk memberikan resonansi paralel dan resonansi seri. Kristal ini dapat dioperasikan pada rangkaian tangki dengan fungsi sebagai penghasil frekuensi resonansi paralel. Kristal sendiri dapat dioperasikan sebagai rangkaian tangki. Jika kristal diletakkan sebagai balikan, ia akan merespon sebagai piranti penghasil resonansi seri. Kristal sebenarnya merespon sebagai tapis yang tajam. Ia dapat difungsikan sebagai balikan pada suatu frekuensi tertentu saja.



## BAB III

### METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam perencanaan dan pembuatan alat ukur telapak kaki ini adalah pengumpulan data yang terdiri atas studi literatur, perencanaan alat yang meliputi pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), pengujian alat dan analisis.

#### 3.1. Studi literatur

Mengumpulkan data-data pustaka dari berbagai sumber buku acuan, majalah, karya tulis dan mempelajari beberapa kepustakaan yang mendukung. Bahan pustaka yang dibutuhkan dikumpulkan selengkap-lengkapnyanya. Bahan pustaka yang dibutuhkan adalah yang membahas mengenai mikroprosesor dan perancangannya khususnya untuk AT89S51, mengetahui spesifikasi komponen yang akan digunakan dalam merencanakan pembuatan perangkat keras (*hardware*). Selain itu digunakan metode diskusi, yaitu mencari informasi yang diperoleh dari konsultasi dengan pembimbing, staf pengajar, dan rekan-rekan mahasiswa.

#### 3.2. Perancangan Alat

Perancangan alat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penentuan spesifikasi alat
2. Pembuatan diagram blok rangkaian
3. Perencanaan dan pembuatan rangkaian tiap blok
4. Menggabungkan blok-blok rangkaian menjadi keseluruhan sistem yang direncanakan.
5. Perencanaan perangkat lunak

#### 3.3. Pembuatan Alat dan Perangkat Lunak

Pembuatan alat diawali dengan perancangan tiap-tiap blok rangkaian pada *project board* untuk mengetahui dan menganalisis keluaran blok-blok tersebut.

Setelah memperoleh keluaran yang diharapkan pada masing-masing blok, langkah selanjutnya adalah pembuatan *layout* PCB dan pemasangan komponen.

Pembuatan perangkat lunak dilakukan dengan mengimplementasikan alur program yang telah direncanakan, penulisan program dalam bahasa *Assembler* dan dilanjutkan dengan pengkonversian dalam bahasa mesin

### 3.4. Pengujian Alat dan Analisis

Setelah komponen dipasangkan ke PCB dan perangkat lunak untuk mendukung sistem selesai dibuat, maka diadakan pengujian dan analisa alat. Metode pengujian alat adalah sebagai berikut:

1. Menguji sistem pada tiap-tiap blok.
2. Menggabungkan sistem dari beberapa blok menjadi keseluruhan sistem
3. Mengadakan pengujian rangkaian secara keseluruhan
4. Mengevaluasi hasil pengujian keseluruhan sistem.

### 3.5. Kesimpulan

Kesimpulan didapat berdasarkan dari hasil perealisasiian dan pengujian alat sesuai dengan tujuan dan rumusan masalah. Saran diberikan setelah melihat adanya kekurangan dalam sistem yang telah dibuat, dengan harapan agar alat ini dapat dikembangkan lebih baik.

## BAB IV

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini memaparkan mengenai spesifikasi alat, diagram blok alat, perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) alat pengukur telapak kaki. Perancangan perangkat keras meliputi: rangkaian mikrokontroler AT89S51, rangkaian *driver* motor *stepper*, rangkaian *limitswitch* dan *push-button*, serta rangkaian LCD. Pada perancangan perangkat lunak (*software*) terlebih dahulu dilakukan pembuatan diagram alir program untuk memudahkan logika pembuatan program.

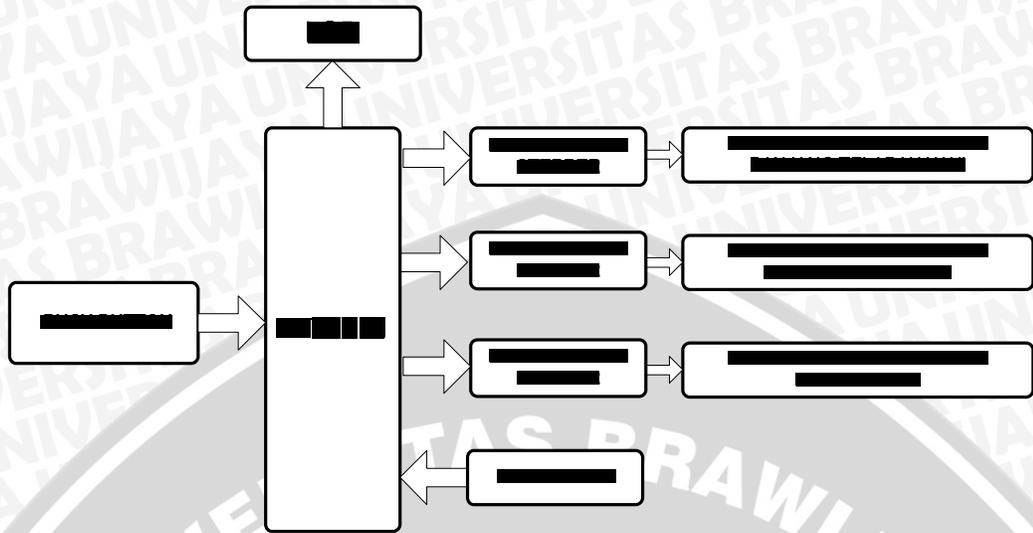
#### 4.1. Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi rangkaian secara keseluruhan ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi sistem yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran telapak kaki dilakukan secara manual dan otomatis.
2. Motor penggerak menggunakan tiga buah motor *stepper* 12 volt.
3. Mikrokontroler AT89S51 sebagai pusat kendali sistem.
4. Tampilan menggunakan LCD 16 kolom  $\times$  2 Baris.
5. Hasil pengukuran ditampilkan dalam tiga angka.
6. Resolusi pengukuran adalah 1 milimeter.

#### 4.2. Diagram Blok Rangkaian

Diagram blok rangkaian alat pengukur telapak kaki yang direncanakan ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram blok sistem

*Keterangan:*

1. *Push-button*  
Digunakan untuk memulai pengukuran telapak kaki.
2. *LCD (Liquid Cristal Display)*  
Berfungsi menampilkan hasil pengukuran kaki.
3. *Mikrokontroler AT89S51*  
Digunakan sebagai unit pengontrol dan pengolah data.
4. *Driver dan Motor Stepper*  
Digunakan untuk pengukuran telapak kaki.
6. *Limitswitch*  
Digunakan sebagai sensor mekanik dengan menjadikan kontak *normaly open*-nya.

### Prinsip Kerja Sistem

Pengukuran dilakukan dengan cara meletakkan kaki pada alas yang telah ditentukan dan memposisikan tumit dan bola kaki (*ball joint*) sedemikian hingga menempel pada batas pengukuran. Dilakukan pengaturan *knop* geser sehingga

berada tepat menunjuk pada bola kaki. Dengan menekan *push-button* maka motor *stepper* akan menggerakkan mistar mendekati telapak kaki dan berhenti ketika menyentuh telapak kaki. Hasil pengukuran ditampilkan pada LCD berupa data: P:---mm, L:---mm, B:---mm.

### 4.3. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras (*hardware*) yang dimaksud adalah perancangan rangkaian *driver* motor *stepper*, rangkaian *push-button* dan *limitswitch*, rangkaian minimum sistem mikrokontroler AT89S51, serta rangkaian antarmuka LCD.

#### 4.3.1. Rangkaian *Driver* Motor *Stepper*

Pada perancangan motor *stepper* menggunakan rangkaian transistor yang difungsikan sebagai saklar. Kebutuhan arus yang diserap oleh motor *stepper* diatur oleh transistor, sedangkan transistor sendiri mendapatkan bias masuk pada kaki basis. Jika terdapat bias pada kaki basis, maka transistor akan aktif sehingga arus mengalir dari kolektor ke emiter. Dengan aktifnya transistor, maka tegangan antara kolektor dan emiter akan minimal dan keadaan ini disebut dengan saturasi. Sebaliknya jika tidak ada tegangan bias pada basis, maka transistor akan *cut-off*.

Dalam rangkaian *driver* motor *stepper* ini menggunakan transistor D400 yang memiliki karakteristik sebagai berikut:

$I_{c (max)}$	: 1 A
$V_{CE (sat)}$	: 0,15 volt
$\beta_{dc}$	: 150

Resistansi kumparan motor *stepper* yaitu sebesar 90  $\Omega$

Untuk memfungsikan transistor agar layaknya sebuah saklar dengan posisi terbuka (*open*), maka dirancang agar  $V_{CE}$  mendekati  $V_{CC}$  atau bahkan  $V_{CE}$  sama dengan  $V_{CC}$ . Untuk itu, arus yang mengalir pada basis ( $I_B$ ) sama dengan nol.

Sedangkan untuk memfungsikan transistor sebagai sebuah saklar dengan posisi tertutup (*close*), maka dirancang agar transistor dalam keadaan saturasi dengan  $V_{CE}$  sama dengan nol. Dengan menggunakan hukum *kirchoff*, maka diperoleh perhitungan:

$$I_{C(Sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(Sat)}}{R_C} = \frac{12 - 0,15}{90} = 130 \text{ mA}$$

$$I_{B(Sat)} = \frac{I_{C(Sat)}}{\beta_{dc}} = \frac{130 \text{ mA}}{150} = 0,86 \text{ mA}$$

Berdasarkan *data sheet* AT89S51 bahwa  $I_{OH} = 60\mu\text{A}$  sehingga tidak cukup untuk memenuhi arus  $I_B$  pada kondisi saturasi maka diperlukan resistansi *pull-up* agar arus  $I_B$  terpenuhi. Perhitungannya sebagai berikut:

$$I_{B(sat)} = I_{R(pull-up)} + I_{OH}$$

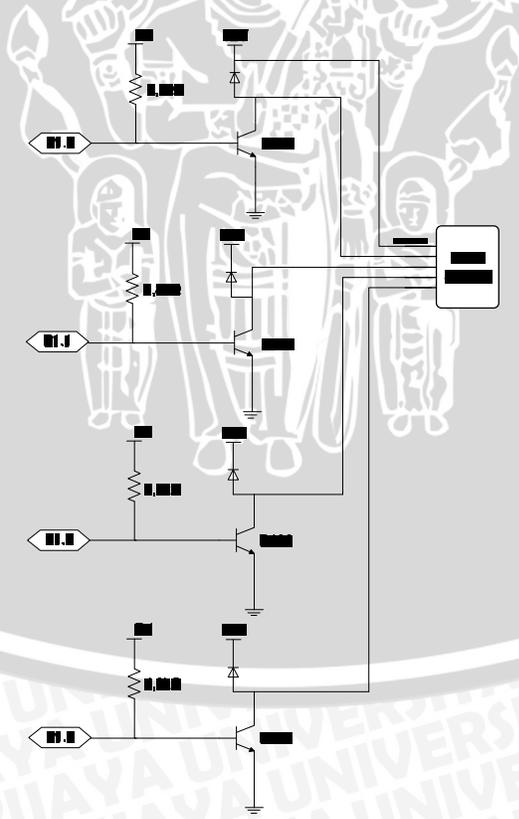
Karena  $I_{OH}$  terlalu kecil maka  $I_{OH}$  dapat diabaikan, sehingga:

$$I_{B(sat)} = I_{R(pull-up)}$$

Maka  $R_{pull-up}$  dapat dicari dengan persamaan seperti di bawah:

$$R_{Pull-up} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{B(sat)}}$$

$$R_{Pull-up} = \frac{5 - 0,7}{0,86\text{mA}} = 4843\Omega \approx 4,8\text{k}\Omega$$

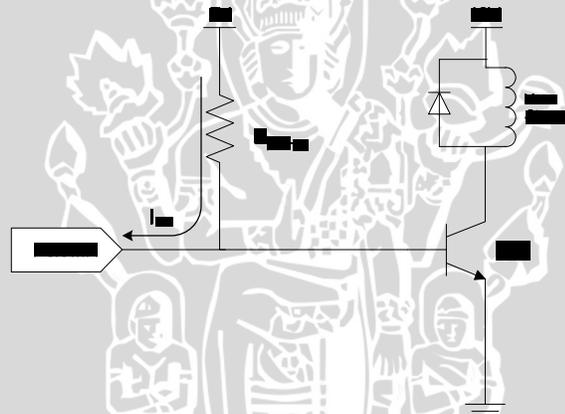


Gambar 4.2. Rangkaian *driver* motor *stepper*

Selain difungsikan untuk memenuhi kebutuhan arus  $I_{B(sat)}$ ,  $R_{pull-up}$  juga dapat difungsikan sebagai pengaman arus pada saat mikrokontroler mengeluarkan logika *low* '0'. Hal tersebut dikarenakan pada saat logika *low* '0', mikrokontroler bersifat menyerap arus, dimana pada lembar *datasheet* AT89S51 diketahui  $I_{OL(max)}$  adalah 15mA per 8-bit *port* (1,2,3). Sehingga untuk masing-masing bit arus maksimal adalah 1,875mA. Perhitungan adalah sebagai berikut:

$$I_{OL} = \frac{V_{cc}}{R_{pull-up}} = \frac{5}{4,8k\Omega} = 1,04mA$$

Dengan menggunakan  $R_{pull-up}$  sebesar 4,8 k $\Omega$ , arus  $I_{OL}$  yang diserap masih dalam batas aman kemampuan mikrokontroler. Gambar 4.3. menunjukkan arah arus pada saat mikrokontroler mengeluarkan logika *low* '0'.

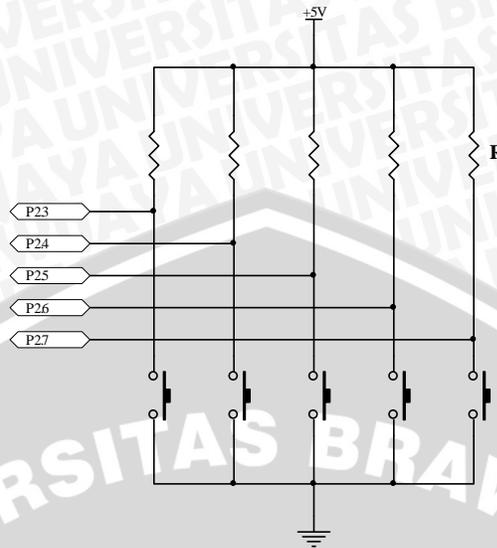


Gambar 4.3. Keadaan *output low* mikrokontroler

Pemasangan dioda secara paralel dengan motor *stepper* berfungsi untuk melindungi transistor pada saat *cut-off*. Karena jika motor *stepper* dimatikan, maka lilitan dalam motor akan menimbulkan GGL lawan yang dapat menembus pertemuan kolektor/basis transistor.

#### 4.3.2. Rangkaian *Push-button* dan *Limitswitch*

*Limitswitch* digunakan sebagai sensor mekanik dengan menjadikan kontak *normally open*-nya sebagai saklar yang identik dengan saklar *push-button*. Blok rangkaian tombol dan *limitswitch* ditunjukkan dalam Gambar 4.4.

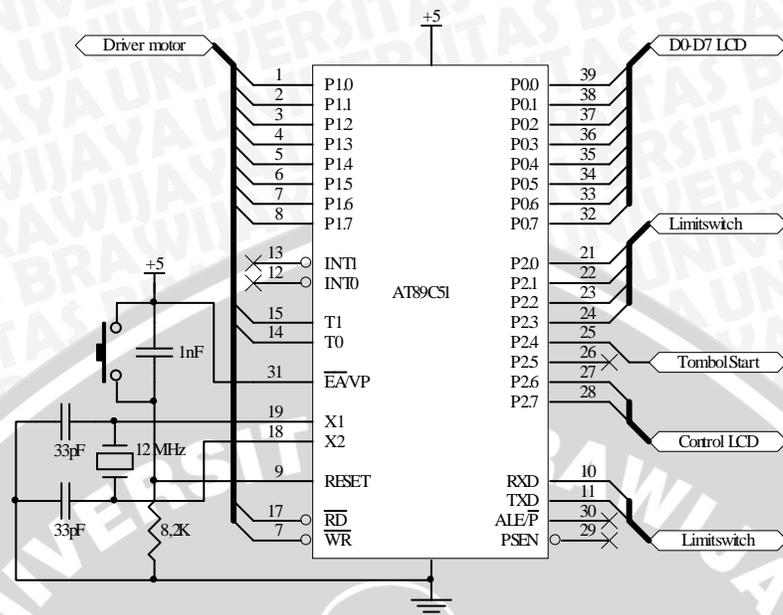


Gambar 4.4. Blok rangkaian tombol dan *limitswitch*

Jika *switch* dalam keadaan normal, maka pin IC mikrokontroler dalam keadaan menerima input logika tinggi ( $V_{cc}$ ). Sedangkan pada saat *switch* terhubung, arus dari  $V_{cc}$  mengalir menuju *ground* sehingga pin IC menerima logika rendah (*ground*). R dipasang  $10k\Omega$  untuk membatasi arus  $I_{OL}$  yang masuk mikrokontroler pada saat *output low '0'*.

#### 4.3.3. Rangkaian Mikrokontroler AT89S51

Mikrokontroler didalam perancangan ini yang akan mengatur keseluruhan sistem agar dapat bekerja dengan baik. Perancangan rangkaian minimum sistem mikrokontroler AT89S51 dapat dilihat dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Rangkaian minimum sistem mikrokontroler AT89S51

Mikrokontroler AT89S51 akan memproses masukan dan keluaran yang ada pada peralatan ini, pengaturan tersebut dilakukan melalui pengaktifan masing-masing pin mikrokontroler. Untuk mengaktifkan pin-pin atau *port* mikrokontroler dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang ditempatkan pada *flash memory internal* tanpa menggunakan memori eksternal. Sehingga EA (*eksternal access enable*) yang terdapat pada pin 31 diberi logika tinggi.

Pin-pin yang digunakan pada IC AT89S51 adalah sebagai berikut:

1. *Port 0* (P0.0 ... P0.7)  
Digunakan sebagai keluaran data ke LCD.
2. *Port 1* (P1.0 ... P1.7) dan P3.4 - P3.7  
Digunakan sebagai keluaran untuk menggerakkan motor *stepper*.
3. *Port 2* (P2.0 ... P2.7)
  - § P2.0 – P2.4 digunakan sebagai masukan dari *push-button* dan *limitswitch*.
  - § *Port 2.7* digunakan mengaktifkan data tulis atau data baca pada pin E LCD
  - § *Port 2.6* digunakan untuk mengaktifkan pin pengaktif register pada pin RS LCD.

#### 4. Port 3 (P3.0 dan P3.1)

§ Digunakan sebagai masukan dari *limitswitch*.

Untuk mengaktifkan mikrokontroler AT89S51 maka perlu diberikan tegangan suplai +5 volt pada pin 40 dan *ground* pada pin 20. Disamping itu perlu diaktifkan osilator yang terdapat pada mikrokontroler (pin X1 dan X2). Untuk mengaktifkan osilator tersebut dalam perancangan ini digunakan kristal 12 MHz dan dua kapasitor 33 pF. Digunakan kristal 12 MHz untuk memperoleh kecepatan pelaksanaan instruksi persiklus sebesar 1 mikrodetik ( $(1/12 \text{ MHz}) \times 12$  siklus perioda).

Karena kristal yang digunakan mempunyai frekuensi sebesar 12 MHz, maka satu periode membutuhkan waktu sebesar :

$$T = \frac{1}{f_{XTALL}} = \frac{1}{12 \text{ MHz}} \text{ s} = 0,833 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

Sehingga waktu minimal logika tinggi yang dibutuhkan untuk mereset mikrokontroler adalah :

$$\begin{aligned} t_{reset(\text{min})} &= T \times \text{periode yang dibutuhkan} \\ &= 0,833 \cdot 10^{-8} \times 24 \\ &= 2 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Jadi mikrokontroler membutuhkan waktu minimal 2  $\mu\text{s}$  untuk mereset. Waktu minimal inilah yang dijadikan pedoman untuk menentukan nilai R dan C. Dari Persamaan 2.4. dengan menentukan nilai R = 8,2 k $\Omega$ , maka nilai C dapat ditentukan sebagai berikut:

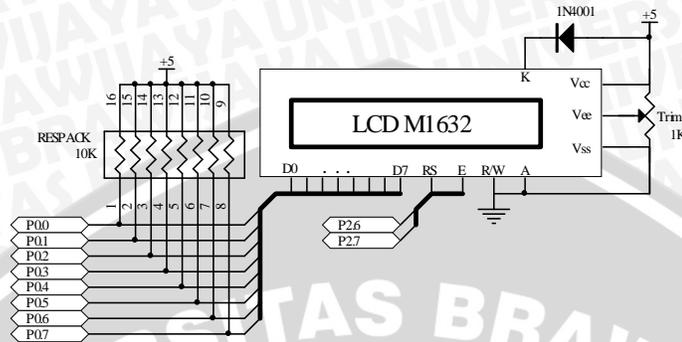
$$\begin{aligned} t &= 0,357 \cdot R \cdot C \\ 2 \cdot 10^{-6} &= 0,357 \cdot 8,2 \cdot 10^3 C \\ C &= 0,683 \cdot 10^{-9} F \end{aligned}$$

Jadi dengan nilai komponen R = 8,2 k $\Omega$  nilai kapasitor yang dapat memenuhi syarat untuk mereset mikrokontroler harus diatas 0,683 nF. Untuk kemudahan perancangan dipilih C = 1 nF.

#### 4.3.4. Rangkaian LCD

Dalam perancangan alat pengukur telapak kaki ini menggunakan sebuah layar LCD (*Liquid Cristal Display*) yaitu jenis *Seiko Instrument M1632* yang

merupakan LCD dua baris yang setiap barisnya terdiri atas 16 karakter. Antarmuka LCD dengan mikrokontroler dapat dilihat dalam Gambar 4.6.

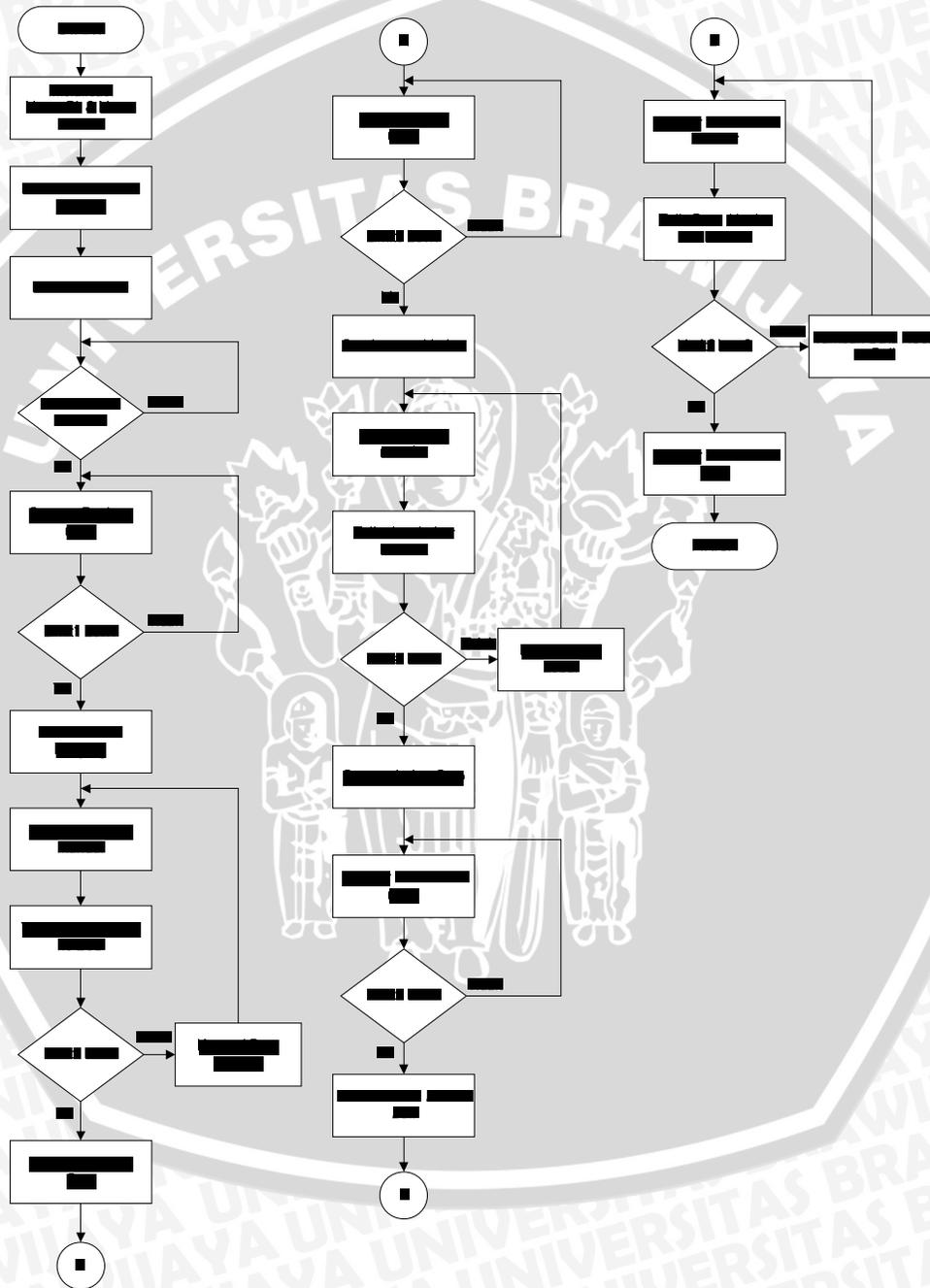


Gambar 4.6. Rangkaian antarmuka LCD dengan mikrokontroler

LCD *dot matrik* ini membutuhkan sepuluh buah pin pada mikrokontroler. Adapun delapan buah pin atau satu *port* masukan/keluaran digunakan sebagai jalur data oleh mikrokontroler, sedangkan dua buah pin masukan/keluaran digunakan sebagai kendali (*control*) pengiriman data ke LCD. Pada perancangan ini LCD dihibungkan dengan *port 0* mikrokontroler. Karena P0 merupakan rangkaian *open drain* yang tidak memiliki internal *pull-up* resistor maka untuk memancarkan logika *high* '1' dibutuhkan eksternal *pull-up* resistor yang besar. Resistor *pull-up* juga berfungsi sebagai pengaman arus pada saat mikrokontroler mengeluarkan logika *low* '0', dimana mikrokontroler bersifat meyerap arus. Untuk menahan data pada jalur data dilakukan dengan cara memberikan *clock* pin E dari LCD. Pin RS menentukan apakah data yang ditahan akan digunakan sebagai instruksi untuk mengatur *setting* tampilan pada LCD atau sebagai kode karakter yang diperlukan LCD untuk menampilkan suatu karakter. Sedangkan untuk pin R/W pada LCD dihubungkan ke *ground* karena dalam perancangan ini LCD hanya melakukan operasi *write* atau menampilkan karakter. Untuk pin  $V_{CC}$  pada LCD dihubungkan ke *supply*  $+V_{CC}$  dan  $V_{SS}$  dihubungkan ke *ground*. Pin  $V_{ee}$  beserta pin  $V_{cc}$  dan  $V_{ss}$  dihubungkan ke *trimpot*, yang digunakan untuk mengatur kontras dari tampilan LCD.

#### 4.4. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dirancang, dibuat dengan menggunakan bahasa *assembler* mikrokontroler MCS-51. Diagram alir program utama dari alat pengukur telapak kaki ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



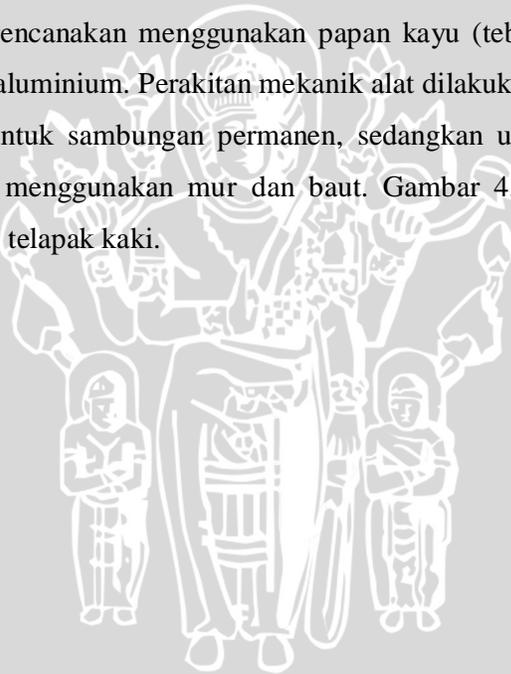
Gambar 4.7. Diagram alir program utama

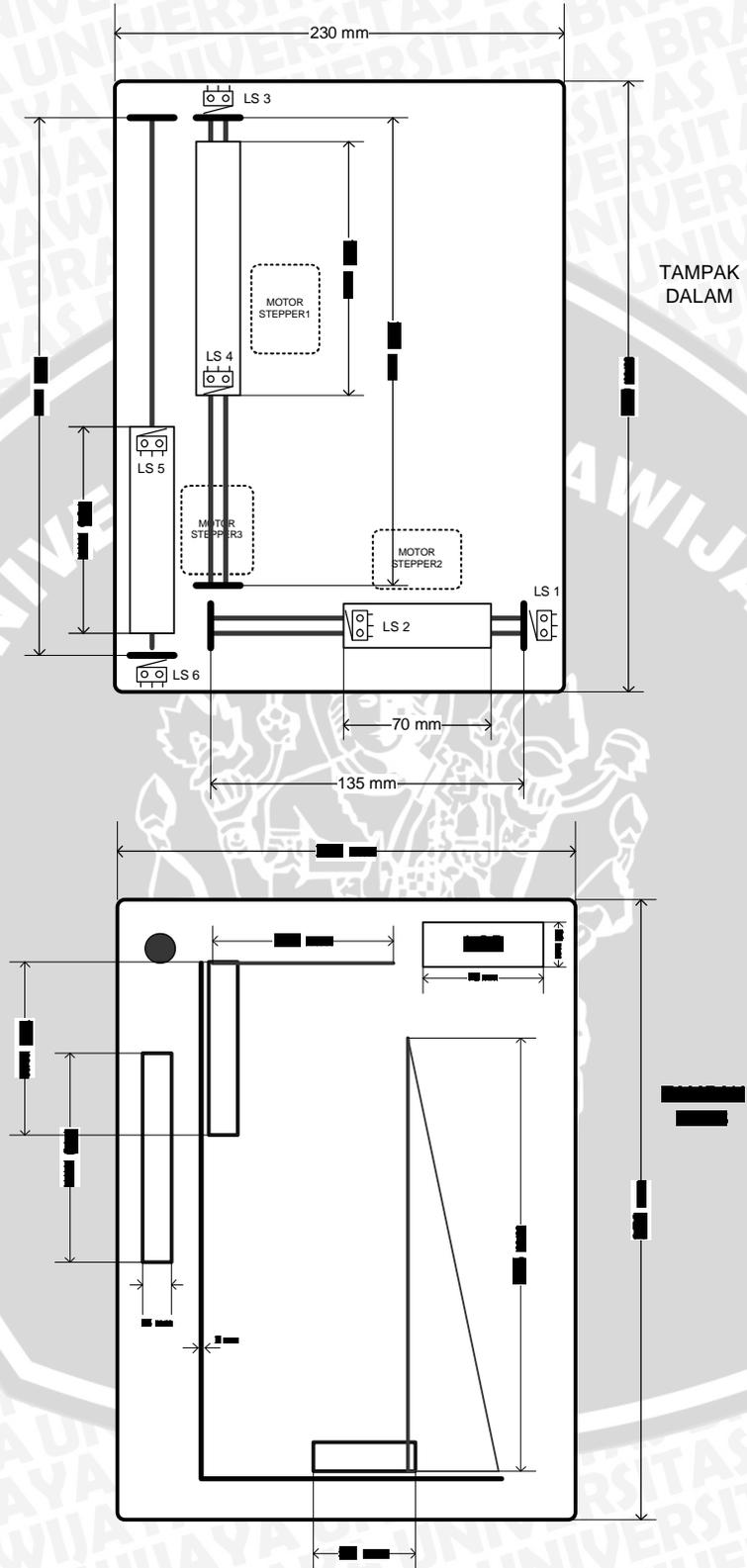
#### 4.5. Perancangan Mekanik

Dalam perancangan ini digunakan motor *stepper* yang dirangkai dengan *gear* transmisi. Dari percobaan diketahui bahwa motor *stepper* membutuhkan 200 *step* untuk satu kali putaran (mode *full step*), sehingga untuk mode *half step* dibutuhkan 400 *step* untuk satu kali putaran. Dimana satu putaran tersebut menghasilkan translasi sejauh 66mm. Sehingga untuk menghasilkan translasi sejauh 1mm motor *stepper* harus berputar sesuai persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\text{Jumlah } \textit{step} \text{ tiap } \textit{mm} &= \frac{400\textit{step}}{66\textit{mm}} \\ &= 6,06 \textit{ step/mm} \\ &\approx 6 \textit{ step/mm}\end{aligned}$$

Mekanik alat direncanakan menggunakan papan kayu (tebal 0,8cm), mika (tebal 2mm), dan plat aluminium. Perakitan mekanik alat dilakukan menggunakan paku dan lem kayu untuk sambungan permanen, sedangkan untuk sambungan yang tidak permanen menggunakan mur dan baut. Gambar 4.8. menunjukkan mekanik alat pengukur telapak kaki.





Gambar 4.8. Gambar mekanik alat

## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini memaparkan mengenai pengujian masing-masing blok rangkaian alat pengukur telapak kaki. Pengujian yang dilakukan meliputi: pengujian rangkaian *driver* motor *stepper*, pengujian input *push-button* dan *limitswitch*, pengujian tampilan LCD serta pengujian rangkaian secara keseluruhan.

#### 5.1. Pengujian Rangkaian Motor *Stepper*

##### 5.1.1. Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian *driver* motor *stepper* dapat mengendalikan motor *stepper* sehingga dapat berputar searah atau berlawanan arah jarum jam, berdasarkan program yang dituliskan. Pada pengujian rangkaian *driver* motor *stepper* dihubungkan dengan *port 2* mikrokontroler AT89S51. Gambar 5.1. menunjukkan diagram blok pengujian rangkaian *driver* motor *stepper*.



Gambar 5.1. Blok diagram pengujian rangkaian motor *stepper*

##### 5.1.2. Peralatan Pengujian

- § Catu daya: 5 dan 12 volt
- § Motor *stepper* 12 volt
- § Rangkaian minimum sistem AT89S51
- § Rangkaian *driver* motor *stepper*
- § Seperangkat komputer, *software* MIDE-51 dan ISP

### 5.1.3. Langkah-langkah Pengujian

- § Menyusun rangkaian *driver* motor *stepper* seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.1.
- § Menghubungkan catu daya 5 volt pada rangkaian.
- § Menghubungkan catu daya 12 volt pada kaki *common* motor *stepper*
- § Menuliskan program pengujian motor *stepper* menggunakan program *assembler* MIDE-51 dan mengisikannya pada mikrokontroler AT89S51 menggunakan *software* ISP.
- § Mengamati arah perputaran motor *stepper* dan mencatat hasil pengujian dalam Tabel 5.1

### 5.1.4. Hasil Pengujian

Data hasil pengujian rangkaian motor *stepper* ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Data hasil pengujian rangkaian motor *stepper*

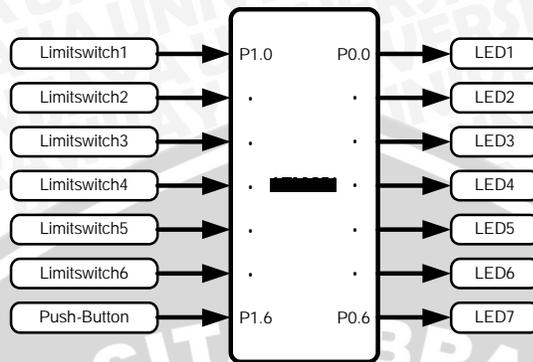
P1.0	P1.1	P1.2	P1.3	Keterangan
1	0	0	0	Satu step searah jarum jam
0	1	0	0	Satu step searah jarum jam
0	0	1	0	Satu step searah jarum jam
0	0	0	1	Satu step searah jarum jam
0	0	0	1	Tidak bergerak
0	0	1	0	Satu step berbalik arah
0	1	0	0	Satu step berbalik arah
1	0	0	0	Satu step berbalik arah
1	0	0	0	Tidak bergerak

Dari pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa rangkaian motor *stepper* dapat berputar searah atau berlawanan arah jarum jam sesuai dengan program yang dituliskan. Hasil pengujian *driver* motor *stepper* ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

### 5.2. Pengujian *Input Push-Button* dan *Limitswitch*.

Tujuan pengujian *push-button* dan *limitswitch* adalah untuk mengetahui apakah penekanan tombol dapat dideteksi oleh mikrokontroler. Blok diagram

rangkaian pengujian *input push-button* dan *limitswitch* ditunjukkan dalam Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Blok diagram rangkaian pengujian *input push-button* dan *limitswitch*

### 5.2.2. Peralatan Pengujian

- § Catu daya 5 volt
- § Rangkaian minimum sistem AT89S51
- § Rangkaian *push-button* dan *limitswitch*
- § LED indikator
- § Seperangkat komputer, *software* MIDE-51 dan ISP

### 5.2.3. Langkah-langkah Pengujian

- § Menyusun rangkaian pengujian *input push-button* dan *limitswitch* seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.2.
- § Menghubungkan catu daya 5 volt pada rangkaian.
- § Menuliskan program pengujian *input push-button* dan *limitswitch* menggunakan program *assembler* MIDE-51 dan mengisikannya pada mikrokontroler AT89S51 menggunakan *software* ISP.
- § Menekan *push-button* atau *limitswitch* secara bergantian
- § Mengamati keadaan LED indikator dan mencatat hasil pengamatan dalam Tabel 5.2.

### 5.2.4. Hasil Pengujian

Data hasil pengujian rangkaian *input push-button* dan *limitswitch* ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Data hasil pengujian tombol dan *limitswitch*

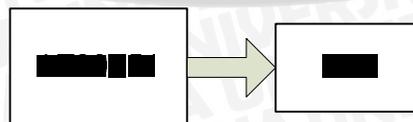
Tombol yang ditekan	Data LED indikator (biner)	Data seharusnya (biner)	Keterangan
<i>Limitswitch 1</i>	01111110	01111110	Sesuai
<i>Limitswitch 2</i>	01111101	01111101	Sesuai
<i>Limitswitch 3</i>	01111011	01111011	Sesuai
<i>Limitswitch 4</i>	01110111	01110111	Sesuai
<i>Limitswitch 5</i>	01101111	01101111	Sesuai
<i>Limitswitch 6</i>	01011111	01011111	Sesuai
<i>Push-button</i>	00111111	00111111	Sesuai

Dari hasil pengujian diketahui bahwa ketika *push-button* atau *limitswitch* ditekan akan menghasilkan data 8 bit yang ditampilkan pada *port 0* yang dihubungkan LED indikator (LED menyala=0, LED mati=1). Hasil pengujian tombol yang ditekan ditunjukkan dalam Tabel 5.2. Dapat diketahui bahwa penekanan tombol dapat dideteksi oleh mikrokontroler, yang ditunjukkan dengan perubahan pada indikator LED.

### 5.3. Pengujian Tampilan LCD

#### 5.3.1. Tujuan

Pengujian tampilan LCD ini bertujuan untuk mengetahui apakah mikrokontroler dapat mengirimkan data dan ditampilkan LCD dengan benar. Blok diagram pengujian LCD ditunjukkan dalam Gambar 5.3.



Gambar 5.3. Blok diagram rangkaian pengujian LCD

### 5.3.2. Peralatan Pengujian

- § Catu daya 5 volt
- § Rangkaian minimum sistem AT89S51
- § LCD tipe M1632
- § Seperangkat komputer, *software* MIDE-51 dan ISP

### 5.3.3. Langkah-langkah Pengujian

- § Menyusun rangkaian pengujian LCD seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.3.
- § Menghubungkan catu daya 5 volt pada rangkaian minimum sistem AT89S51
- § Menuliskan program pengujian LCD menggunakan program *assembler* MIDE-51 dan mengisikannya pada mikrokontroler AT89S51 menggunakan *software* ISP.
- § Mengamati keluaran tampilan LCD

### 5.3.4. Hasil Pengujian

Gambar 5.4. menunjukkan hasil tampilan pengujian LCD.



Gambar 5.4. Hasil tampilan pengujian LCD

Dari hasil pengujian diperoleh hasil bahwa modul *display* LCD dapat menampilkan karakter “PENGUKUR TELAPAK KAKI” dengan benar sesuai dengan program yang diberikan. Dengan demikian *display* LCD dapat berfungsi dan dapat dikirim data dari mikrokontroler. Gambar 5.4. menunjukkan hasil pengujian *display* LCD.



- § Mengukur telapak kaki secara bergantian dan mengubah posisi *knop* pengukur *heel to ball* untuk setiap pengukuran.
- § Mengamati hasil pengukuran pada tampilan LCD dan mencatat hasil pengamatan dalam Tabel 5.3.

Sebelum melakukan pengujian, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan agar alat ini bisa bekerja dengan benar, yaitu:

- § Telapak kaki yang akan diukur berada pada posisi yang telah ditentukan yaitu: bola kaki menempel pada batas pengukuran lebar kaki dan tumit menempel pada batas pengukuran panjang kaki.
- § Poros kaki tegak lurus terhadap batas pengukuran panjang kaki, hal ini bertujuan agar tidak terjadi kesalahan pengukuran.

#### 5.4.4. Hasil Pengujian

Data hasil pengujian rangkaian secara keseluruhan ditunjukkan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Hasil pengujian secara keseluruhan

Telapak kaki	Pengukuran Manual			Pengukuran Alat		
	Panjang	Lebar	Ball	Panjang	Lebar	Ball
I	269 mm	99 mm	174 mm	269 mm	100 mm	174 mm
II	250 mm	92 mm	176 mm	250 mm	92 mm	176 mm
III	228 mm	86 mm	158 mm	228 mm	88 mm	158 mm
IV	244 mm	93 mm	169 mm	244 mm	93 mm	169 mm
V	259 mm	95 mm	175 mm	259 mm	95 mm	175 mm

Dari data hasil pengujian yang ditunjukkan dalam Tabel 5.3. dapat diketahui bahwa terjadi kesalahan pada pengukuran lebar telapak kaki, dimana terjadi perbedaan 1 sampai dengan 2 milimeter dari pengukuran secara manual. Hal tersebut terjadi karena *limitswitch* pengukur lebar telapak kaki tidak tepat menyentuh telapak kaki sehingga terjadi perbedaan pengukuran. Sedangkan untuk pengukuran panjang telapak kaki dan *heel to ball* tidak terdapat perbedaan antara pengukuran manual dan pengukuran alat.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Dari perancangan, pembuatan, dan pengujian alat pengukur telapak kaki dapat dirumuskan kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat pengukur telapak kaki ini dapat mengukur panjang, lebar, dan *heel to ball* telapak kaki.
2. Pengukuran menggunakan tiga buah motor *stepper*, yang menggunakan mikrokontroler AT89S51 sebagai pusat kendali sistem.
3. Alat pengukur dapat menampilkan hasil pengukuran dalam tiga angka pada layar LCD.
4. Dari pengujian alat secara keseluruhan, alat dapat bekerja sesuai spesifikasi yang telah direncanakan dengan resolusi pengukuran 1 milimeter.

#### 6.2. Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat pengukur telapak kaki ini terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan untuk disempurnakan. Hal tersebut berupa:

1. Dapat dikembangkan dengan menambahkan pengukuran lingkaran telapak kaki (lingkar gemur).
2. Hasil pengukuran dapat langsung menampilkan ukuran sepatu yang akan dibuat.
3. Dapat dikembangkan dengan mengkoneksikan alat dengan PC sehingga data dapat langsung tersimpan pada *data base* komputer.

## Daftar Pustaka

- \_\_\_\_\_, 2006, *Human Foot Morphology*. Digital Human Research Center, AIST, [www.dh.aist.go.jp](http://www.dh.aist.go.jp). Diakses tanggal 13 Maret 2007.
- \_\_\_\_\_, 2007, *Foot Chart and Measurement*, [www.DanceShoesOnLine.com](http://www.DanceShoesOnLine.com). Diakses tanggal 15 Maret 2007.
- Budiharto, Widodo, 2004, *Interfacing Komputer dan Mikrokontroler*, Penerbit ElexMediaKomputindo, Jakarta.
- Malvino, Albert Paul, 1996, *Prinsip-Prinsip Elektronika*, Edisi ketiga, Alih bahasa: Hanapi Gunawan, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Nalwan, Paulus A., 2004, *Penggunaan dan Antarmuka Modul LCD M1632*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Putra, Agfianto Eko, 2002, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, Penerbit Graha Media, Yogyakarta.
- Ravindra S., C.F. Edmond, Y.H. Richard., *Foot Anthropometry in Hong Kong*, Hong Kong University of Science and Technology.
- Setiawan, Rachmad, 2006, *Mikrokontroler MCS-51*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.