

**DESAIN SISTEM INJEKSI CAIRAN MENGGUNAKAN
PENGGERAK MOTOR STEPPER PADA SISTEM SENSOR
QCM (QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE)**

SKRIPSI

Oleh: **RIDHA NOVIA IKHSANI**

115090800111006



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2016**

**DESAIN SISTEM INJEKSI CAIRAN MENGGUNAKAN
PENGGERAK MOTOR *STEPPER* PADA SISTEM SENSOR
OCM (*QUARTZCRYSTAL MICROBALANCE*)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Oleh :

RIDHA NOVIA IKHSANI

115090800111006



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2016**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**DESAIN SISTEM INJEKSI CAIRAN MENGGUNAKAN
PENGGERAK MOTOR STEPPER PADA SISTEM SENSOR
QCM (QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE)**

Oleh:

RIDHA NOVIA IKHSANI

115090800111006

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ing. Setyawan P.S., M.Eng

NIP. 196508251990021001

Ir. D.J. Djoko H.S., M.Phil., PhD

NIP. 196601311990021001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Sukir Maryanto, S.Si., M.Si., Ph.D

NIP. 197106211998021001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Ridha Novia Ikhsani**

NIM : **115090800111006**

Jurusan : **Fisika**

Penulis Skripsi berjudul:

DESAIN SISTEM INJEKSI CAIRAN MENGGUNAKAN PENGGERAK MOTOR STEPPER PADA SISTEM SENSOR QCM (QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE)

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang. Nama-nama yang tercantum di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini digunakan sebagai referensi pendukung dalam skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang,

Yang menyatakan,

Ridha Novia Ikhsani
NIM. 115090800111006

DESAIN SISTEM INJEKSI CAIRAN MENGGUNAKAN PENGGERAK MOTOR STEPPER PADA SISTEM SENSOR QCM (QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE)

ABSTRAK

Sensor QCM sebagai biosensor bekerja di dalam lingkungan *liquid*, di mana reaksi akan terjadi ketika suatu cairan *sample* diletakkan di atas permukaan sensor QCM. Dalam penginjeksian cairan *sample*, seluruh permukaan sensor akan terisi penuh. Cairan *sample* diletakkan di atas permukaan sensor dengan menggunakan metode injeksi alir atau dengan metode tetes cairan. Pada penelitian ini, dibuat dan dirancang sebuah pompa mikroliter yang dapat digunakan untuk menginjeksikan cairan *sample* ke permukaan sensor QCM yang berada di dalam konstruksi sel tertutup serta mampu untuk mengeluarkan cairan *sample* dengan melihat efek dari perubahan tekanan hidrostatiknya.

Pompa mikroliter yang telah dibuat berpenggerak motor *stepper* yang dikontrol dengan mikrokontroler PIC18F4550. Sebagai piranti masukan jumlah volume *sample* digunakan komponen *keypad* 4x4 sedangkan untuk menampilkan informasi dari jumlah volume *sample* digunakan komponen LCD 16x4. Sistem mekanik pompa terdiri dari *disposable syringe* dan pipa tabung PTFE sebagai tempat mengalirnya cairan *sample*. Pergerakan *syringe* dikontrol menggunakan motor *stepper* dengan sistem transmisi mekanik. Arah dan putaran motor *stepper* dikontrol melalui mikrokontroler.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembuatan pompa mikroliter ini bisa digunakan untuk proses penginjeksian atau penarikan cairan *sample* ke dalam sistem sensor QCM dengan melihat laju aliran dan respon frekuensi dari sensor QCM. Hasil uji perulangan menunjukkan bahwa rentang kerja efektif dari pompa mikroliter ini berada pada volume 20- μ l sampai 100 μ l.

Kata Kunci: *Micro pump*, QCM, Motor *stepper*.

DESIGN OF FLUID INJECTION SYSTEM USING STEPPER MOTOR FOR QCM (QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE) SENSOR SYSTEM

ABSTRACT

QCM as biosensor works in a liquid environment. One of the sensor surfaces, where the reaction will take place, is put in contact with buffer solution. Prior to the sample injection, buffer solution need to cover the sensor surface. Buffer and solution of a target molecules were put on top of the sensor by using a flow injection method or by using liquid drop method. In this research, we develop a micro pump which can be used to fill the QCM sensor surface in close reaction cell with buffer solution and also able to take out the buffer solution with a few hydrostatic pressure changes.

The microliter pump was developed by using a stepper motor with a microliter syringe and a microcontroler PIC18F4550 as a control system. The amount of liquid being injected is set by using a 4x4 keypad and displayed in a 4x16 LCD. The syringe is connected to the QCM sensor cell using a flexible PTFE tube. The syringe stroke was controlled using a stepper motor with a mechanical transmission system. The motor speed and direction were controlled by using a microcontroller.

The developed micro pump system able to inject or withdraw a liquid to the sensor system at a flow rate of few the QCM resonance frequency. Both water injections and removal slightly affect the resonance frequency of the sensor. The result of repeatability test, the microliter pump have a works efectivity range on a 20 μ l to 100 μ l.

Keywords: *Micro pump, QCM, Stepper motor.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul “DESAIN SISTEM INJEKSI CAIRAN MENGGUNAKAN PENGGERAK MOTOR STEPPER PADA SISTEM SENSOR QCM (QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE)”, dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains dalam bidang Fisika di Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Penulisan tugas akhir ini disusun sebagai hasil dari pelaksanaan penelitian tugas akhir di Laboratorium Instrumentasi dan Pengukuran Universitas Brawijaya, yang dilaksanakan sejak bulan Januari sampai bulan Juli 2015.

Penulis sangat berterimakasih pada pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, saran dan kritik baik selama pelaksanaan penelitian tugas akhir maupun dalam penyusunan tugas akhir ini, sehingga pada kesempatan ini penulis ucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bunda Tati Suhayati (Alm) tercinta yang telah memberikan pelajaran hidup dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini.
2. Ayah dan Ibu tercinta, Kusnadi dan Iis Lisnawati yang selalu merestui dan senantiasa mensupport dan mendoakan.
3. Bapak Dr. Ing. Setyawan P.S, M. Eng, sebagai pembimbing I atas segala bentuk bimbingan yang beliau berikan selama penyusunan tugas akhir.
4. Bapak Ir. D.J Djoko H.S., M.Phil., Ph.D, sebagai pembimbing II atas segala bentuk bimbingan yang beliau berikan selama penyusunan tugas akhir.
5. Bapak Sukir Maryanto, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA.
6. Bapak dan ibu dosen, staf pengajar, laboran, dan karyawan jurusan fisika.
7. Saudara, kerabat dan sahabat tercinta terkhusus untuk Irfan Fajar Tresnadi, Tria Ilhami Firmansyah dan Kamila Ulfa yang selalu memberi semangat.
8. Keluarga besar Nini, Aki, Dzia, Rais dan Oka yang selalu member dukungan kepada penulis.

9. Teman – teman riset **ASMAT UB & SENSOR SYSTEM**, mas Vani, mas Lalu, mas Ali, mas Salim, mas Sigit, Imron & Rizal.

10. Sahabat – sahabat saya, Sela, Pandu, Ifa, Adit, Nichon yang selalu memberi semangat.

11. Teman-teman prodi Instrumentasi angkatan 2011 yang selalu memotivasi penulis.

12. Semua rekan – rekan mahasiswa Jurusan Fisika Univeritas Brawijaya.

13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, atas bantuannya baik tenaga, fisik, maupun pikiran selama penyusunan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa laporan ini tidak sempurna dan masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak untuk dapat menyempurnakan laporan penyusunan tugas akhir ini dan untuk pembelajaran selanjutnya. Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat untuk kedepannya. Akhir kata, semoga Allah SWT senantiasa membalas segala amalkebaikan pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis



DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN	i
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Quartz Crystal Microbalance (QCM)</i>	5
2.2 <i>Motor Stepper</i>	8
2.2.1 Prinsip kerja motor <i>stepper</i>	9
2.2.2 Jenis-jenis motor <i>stepper</i>	13
2.2.3 Motor <i>stepper</i> 28BYJ-48.....	15
2.3 <i>Keypad</i>	17
2.4 <i>LCD</i>	18
2.5 <i>Driver Motor L298</i>	19
2.6 Mikrokontroler PIC 18F4550.....	20
2.6.1 Konfigurasi osilator.....	22
2.6.2 Modul komparator.....	23
2.6.3 Interupsi.....	24
2.6.4 ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>) <i>Module</i>	25
2.7 Analisis <i>Flow Injection (FIA)</i>	26
2.8 Tekanan Dalam Zat Cair.....	28
2.9 Efek Tekanan Hidrostatik Pada Sensor QCM.....	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2. Tahap Alur Penelitian	31
3.3. Rancangan Sistem Injeksi Cairan	33
3.3.1 Rancangan subsistem elektronik	38
3.3.1.1 Rangkaian sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550	39
3.3.1.2 Rangkaian catu daya	40
3.3.1.3 Rangkaian motor driver	41
3.3.1.4 Rangkaian board penggabung	42
3.3.2 Rancangan program mikrokontroler	43
3.3.2.1 Program <i>input keypad</i>	44
3.3.2.2 Program putaran motor <i>stepper</i>	46
3.3.3 Rancangan dan pembuatan subsistem pompa mikroliter	47
3.3.3.1 Rancangan sistem mekanik <i>syringe pump</i>	47
3.3.3.2 Rancangan dan pembuatan konstruksi sel	48

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Sistem	49
4.1.1 Pengujian subsistem elektronik	49
4.1.1.1 Pengujian minimum sistem mikrokontroler	49
4.1.1.2 Pengujian motor <i>driver</i>	52
4.1.1.3 Pengujian <i>keypad</i>	55
4.1.1.4 Pengujian LCD	56
4.1.2 Pengujian subsistem mekanik	58
4.1.2.1 Pengujian sistem penggerak	58
4.1.2.2 Pengujian konstruksi sel	59
4.2. Kalibrasi Volume Cairan <i>Sample</i> dan Putaran Motor	60
4.2.1. Kalibrasi iterasi motor <i>stepper</i> terhadap volume <i>disposable syringe</i>	60
4.2.2. Kalibrasi volume cairan <i>sample</i> menggunakan <i>centrifuge tube</i>	61
4.2.3. Kalibrasi volume cairan <i>sample</i> menggunakan mikropipet	62
4.3. Pengambilan Data	63
4.3.1. Injeksi dengan kecepatan normal (<i>normal injection</i>)	64
4.3.2. Injeksi dengan kecepatan pelan (<i>slow injection</i>)	66
4.4. Unjuk Kerja Sistem Injeksi Cairan Secara Keseluruhan	67

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan 69

5.2. Saran 69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kode digital putaran motor <i>stepper</i>	12
Tabel 2.2 Deskripsi <i>pinout</i> LCD 16x4.....	19
Tabel 2.3 Tipe pengaturan osilator dalam PIC18F4550.....	22
Tabel 2.4 Register kontrol komparator (CMCON).....	23
Tabel 2.5 Konfigurasi bit pada register CMCON.....	23
Tabel 2.6 Konfigurasi bit pada register CMCON (Lanjutan).....	24
Tabel 2.7 Interupsi kontrol register 2 (INTCON2).....	24
Tabel 2.8 Konfigurasi bit pada interupsi kontrol register 2 (INTCON2).....	25
Tabel 2.9 ADC kontrol register 0 (ADCON0).....	26
Tabel 2.10 Kontrol register 1 (ADCON1).....	26
Tabel 3.1 Konfigurasi <i>input / output</i> pada <i>keypad</i> 4x4.....	44
Tabel 4.1 Hasil uji sistem minimum dengan indikator LED.....	49
Tabel 4.2 Hasil uji sistem minimum dengan indikator LED (lanjutan).....	50
Tabel 4.3 Hasil uji keluaran motor <i>driver</i> dengan indikator LED....	53
Tabel 4.4 Hasil uji keluaran motor <i>driver</i> dengan indikator LED (lanjutan).....	54
Tabel 4.5 Hasil uji nilai keluaran motor <i>driver</i> menggunakan multimeter.....	54
Tabel 4.6 Hasil pengujian konfigurasi <i>input / output</i> pada <i>keypad</i>	56
Tabel 4.7 Korelasi antara jumlah volume <i>sample</i> dengan iterasi motor <i>stepper</i>	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pola potong kristal kuarsa dengan berbagai sudut arah potong	6
Gambar 2.2 Struktur Sensor QCM. Lapisan kristal kuarsa diapit oleh logam elektroda di kedua sisinya. A) sensor QCM tampak atas. B) Sensor QCM tampak samping ...	6
Gambar 2.3 Skematik rangkaian pengukur massa dengan menggunakan sensor QCM	7
Gambar 2.4 Perbedaan putaran penuh antara motor <i>stepper</i> dan motor DC. A) Motor <i>Stepper</i> B) Motor DC	8
Gambar 2.5 Gaya yang timbul pada kabel berarus listrik yang diletakkan pada daerah medan magnet, dan aturan tangan kiri Fleming	9
Gambar 2.6 Motor <i>stepper</i> jenis dua <i>phase</i> magnet permanen.....	10
Gambar 2.7 Motor <i>stepper</i> empat kumparan.....	11
Gambar 2.8 Gaya dan torsi dari sebuah rotor.....	13
Gambar 2.9 Jenis motor <i>stepper</i> berdasarkan struktur penyusunnya. A) <i>Variable Reluctance</i> (VR). B) <i>Permanent magnet</i> (PM). C) <i>Hybrid</i> (HB).....	13
Gambar 2.10 Konfigurasi motor <i>stepper</i> . A) Motor <i>Stepper</i> Bipolar. B) Motor <i>Stepper</i> Unipolar.....	15
Gambar 2.11 Motor <i>stepper</i> 28BYJ-48 dengan 5 koneksi kabel	15
Gambar 2.12 <i>Gear Ratio</i> pada motor <i>stepper</i> 28BYJ-48.....	16
Gambar 2.13 Konfigurasi matriks pada <i>keypad</i> 4x4.....	17
Gambar 2.14 <i>Pinout</i> modul LCD teks.....	18
Gambar 2.15 IC <i>driver</i> motor L298P.....	20
Gambar 2.16 Pin diagram PIC18F4550	21
Gambar 2.17 Perinsip sederhana dari metode FIA	27
Gambar 2.18 Respon dari QCM terhadap tekanan hidrostatik dengan variasi jarak ketinggian dari pipa di dalam satu sistem tertutup	29
Gambar 2.19 Respon QCM terhadap tekanan udara terbuka. QCM diletakkan di dalam wadah yang terhubung langsung dengan pompa	30



Gambar 3.1 Blok diagram alur penelitian 31

Gambar 3.2 Skematik diagram sistem injeksi cairan berpenggerak motor *stepper* 35

Gambar 3.3 Skematik diagram rangkaian elektronik yang terintegrasi dengan mikrokontroler PIC18F4550 38

Gambar 3.4 Skematik rangkaian sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550 39

Gambar 3.5 Skematik rangkaian catu daya untuk sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550 40

Gambar 3.6 Skematik rangkaian motor *driver* dengan IC L298 41

Gambar 3.7 Skematik sistem rangkaian *board* penggabungan 43

Gambar 3.8 Konfigurasi posisi tombol pada *keypad* 4x4 44

Gambar 3.9 *Flowchart* program putaran motor *stepper* 45

Gambar 3.10 Perancangan sistem mekanik *syringe pump* 48

Gambar 3.11 Perancangan konstruksi sel sensor QCM 48

Gambar 4.1 Proses pengujian rangkaian sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550 dengan motor *stepper* 51

Gambar 4.2 Proses pengujian motor *driver* dengan indikator LED 53

Gambar 4.3 Pengujian *keypad* dengan menggunakan multimeter 55

Gambar 4.4 Hasil Pengujian LCD 57

Gambar 4.5 Pengujian sistem penggerak motor *stepper* dan *syringe pump* 58

Gambar 4.6 Pengujian konstruksi sel 59

Gambar 4.7 *Centrifuge tube* yang digunakan untuk perbandingan volume pompa mikroliter 62

Gambar 4.8 Mikropipet yang digunakan dalam proses kalibrasi volume injeksi cairan *sample* 63

Gambar 4.9 Respon frekuensi sensor QCM terhadap 30 µl injeksi air oleh pompa mikroliter. (a) Proses 3 kali injeksi dan tarikan. (b) Proses 2 kali injeksi dan tarikan 65

Gambar 4.10 Respon frekuensi sensor QCM terhadap proses 3 kali injeksi dan tarikan / *remove* dengan volume 30 µl air 66

Gambar 4.11 Respon frekuensi sensor QCM terhadap proses 2 kali injeksi dan tarikan / *remove* dengan volume 30 µl air menggunakan mode *slow injection* 67



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1

Gambar L1.1 Desain sistem injeksi pompa mikroliter 76

Gambar L1.2 Proses pengambilan data menggunakan frekuensi counter dan pompa mikroliter 76

Lampiran 2 *Datasheet* motor stepper 28BYJ-48 77

Lampiran 3 *Datasheet* keypad 4x4 78

Lampiran 4 *Datasheet* motor driver L298 79

Lampiran 5 *Datasheet* mikrokontroler PIC18F4550 81

Lampiran 6 Data kalibrasi volume injeksi terhadap jumlah iterasi motor stepper 83

Lampiran 7 Listing program 87

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman yang berdampak besar pada perkembangan teknologi terutama di bidang sensor, Laboratorium Instrumentasi, Jurusan Fisika dan kelompok penelitian ASMAT (*Advanced System And Material Technology*) Universitas Brawijaya, melakukan penelitian dalam bidang biosensor terutama dalam pengembangan sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*). Sensor QCM merupakan salah satu sensor yang dapat digunakan untuk pengukuran perubahan massa dalam orde μg . Mekanisme kerja dari sensor QCM ini yaitu dengan mengukur perubahan pergeseran frekuensi pada resonator kristal kuarsa, dimana besarnya pergeseran frekuensi pada sebuah resonator kristal kuarsa sebanding dengan perubahan massa pada kristal kuarsa (Sauerbrey, 1959).

Sensor QCM tersusun dari lempengan tipis kristal tunggal, yang diapit oleh dua logam elektroda dan terdapat lapisan material kimia untuk melapisi permukaan QCM. Pelapisan pada QCM berfungsi untuk penyerapan molekul – molekul yang akan dideteksi dan untuk melindungi molekul yang akan dideteksi. Dalam aplikasinya sebagai sensor, QCM perlu dilapisi dengan material kimia (*polyelectrolyt*, polimer) supaya permukaannya rata dan tidak teroksidasi (Sutantri dkk., 2014).

Selain dapat bekerja pada lingkungan gas (udara), sensor QCM bekerja di lingkungan *liquid*, dimana reaksi akan terjadi ketika suatu cairan *sample* diletakkan di atas permukaan sensor QCM. Dalam aplikasinya sebagai biosensor, proses penginjeksian cairan *sample* pada permukaan sensor QCM sangat penting, oleh karena itu diperlukan instrumen injeksi cairan presisi yang baik.

Teknik yang digunakan untuk meletakkan cairan *sample* di atas permukaan QCM salah satunya dengan metode aliran injeksi (Michalzik dkk., 2005) atau dengan metode tetes cairan. Masing – masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan (Sakti dkk., 2013). Metode penginjeksian tetes cairan secara manual dilakukan dengan menggunakan instrumen mikropipet. Dengan skala yang telah ditentukan di mikropipet maka *user* dapat meneteskan cairan tersebut terhadap permukaan QCM. Selama ini metode yang

digunakan untuk penginjeksian *sample* di atas permukaan QCM khususnya dalam penelitian biosensor di Laboratorium Instrumentasi, Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya adalah menggunakan metode tetes cairan.

Dengan menggunakan metode tetes cairan, terdapat beberapa kelemahan, diantaranya yaitu sensor QCM akan beresiko mengalami kerusakan diakibatkan karena efek tetesan dari cairan *sample* yang akan langsung mengenai sensor QCM, selain itu dengan metode tetes cairan akan mempengaruhi lama waktu stabilitas frekuensi QCM yang dihasilkan. Faktor-faktor tersebut diantaranya disebabkan oleh posisi kemiringan sudut peneteskan ketika proses penginjeksian dan posisi jarak ujung tip dari mikropipet terhadap sensor QCM. Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, faktor tersebut sangatlah dihidarkan karena akan menimbulkan beberapa permasalahan diantaranya yaitu terbentuknya gelembung di dalam cairan yang telah di ditetaskan, sehingga berpengaruh terhadap waktu stabilitas frekuensi (Chabibah, 2014). Sementara itu metode injeksi *sample* di atas permukaan sensor QCM dengan menggunakan teknik injeksi alir memerlukan sistem yang kompleks dan ketelitian dalam hal perubahan tekanan injeksi yang presisi.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dibuat dan dirancang sistem otomatisasi pompa dalam orde mikroliter berpengerak motor *stepper* yang dapat digunakan untuk mengisi cairan *sample* di atas permukaan sensor QCM, dan juga berfungsi untuk mengeluarkan cairan *sample* di dalam reaksi sel tertutup. Kemudian hasil dapat diamati dengan melihat perubahan efek hidrostatisnya. Jumlah cairan yang akan digunakan dapat di kontrol manual dengan masukan berupa *keypad* dan ditampilkan dalam LCD, cairan *sample* dialirkan secara presisi dengan mekanisme kerja motor *stepper* dan sebuah *disposable syringe*. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir kekurangan yang ditimbulkan ketika penginjeksian dengan metode tetes cairan secara manual. Sehingga dapat mengoptimalkan kinerja hasil dari penginjeksian cairan *sample* secara otomatis pada permukaansensor QCM.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan pokok-pokok masalah dalam penelitian ini yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang dan membuat sistem injeksi cairan dengan menggunakan komponen utama motor *stepper*.
- b. Bagaimana merancang sistem kontrol yang digunakan untuk mengendalikan motor *stepper*.
- c. Bagaimana merancang program untuk menjalankan dan mengontrol motor *stepper*.
- d. Bagaimana unjuk kerja dari sistem secara keseluruhan.

1.3 Batasan Masalah

Agar ruang lingkup penelitian lebih jelas, maka penelitian ini hanya terfokus pada desain pembuatan sistem instrumentasi penginjeksi cairan di atas permukaan sensor QCM. Sehingga batasan-batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- a. Alat yang dibuat berbasis mikrokontroler Microchip PIC18F4550.
- b. Kecepatan motor diatur manual dengan piranti masukan *keypad*.
- c. Pada penelitian ini perangkat penggerak yang digunakan adalah motor *stepper* dengan fase unipolar.
- d. Cairan yang digunakan untuk *sample* injeksi adalah air.
- e. Pada penelitian ini tidak dibahas lebih mendalam tentang karakteristik cairan *sample* yang digunakan untuk penginjeksian.
- f. Alat yang dibuat dibatasi penggunaannya hanya untuk keperluan penginjeksian cairan pada permukaan sensor QCM.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yang ingin dicapai yaitu:

- a. Merancang dan membuat sistem injeksi cairan dengan menggunakan komponen utama motor *steppers*.
- b. Merancang sistem kontrol yang digunakan untuk mengendalikan motor *stepper*.
- c. Merancang program untuk menjalankan dan mengontrol motor *stepper*.
- d. Mengetahui unjuk kerja dari sistem injeksi cairan secara keseluruhan.



1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan:

- a. Dapat meningkatkan hasil dan efisiensi dari proses penginjeksian cairan *sample* di atas permukaan sensor QCM, sehingga dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam proses penelitian dalam bidang sensor QCM.
- b. Dapat mempermudah penggunaan injeksi cairan pada permukaan sensor QCM.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Quartz Crystal Microbalance (QCM)

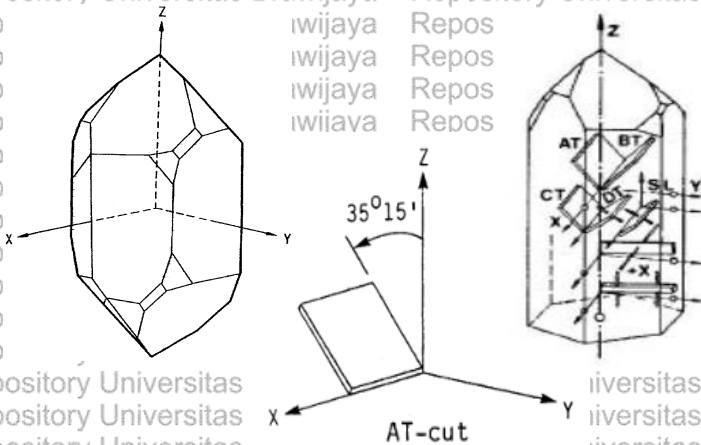
Sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) tersusun atas sebuah kristal kuarsa, Sudut pola pemotongan dari kristal kuarsa akan menghasilkan beberapa variasi sifat yang ditimbulkan antara sifat listrik – mekanik ataupun koefisien temperatur. Sudut potong kristal kuarsa yang diaplikasikan untuk sensor QCM yaitu dengan sudut potong AT-cut, yang berkisar antara $+35^{\circ}$ – 15° dari sumbu Z (Gambar 2.1). Sudut potong kristal kuarsa AT-cut menghasilkan sifat kristal piezoelectrics yang bergetar dengan modulus geser dan stabilitas suhu yang tinggi (Höök & Rudh, 2005). Sehingga QCM dikenal juga dengan sebutan sensor gelombang akustik TSM sensor (Thickness Shear Mode).

QCM merupakan salah satu sensor pendeteksi perubahan massa yang ultra *sensitive*. Inti dari QCM ini yaitu lapisan *AT-Cut Piezoelectric* diantara sepasang elektroda (Heng, 2004). Gambar 2.2 menunjukkan suatu sensor QCM. Ketika elektroda disambungkan dengan osilator, maka kristal kuarsa akan beresilasi dan menghasilkan efek *piezoelectric*.

Sensor QCM merupakan piranti yang sering digunakan dalam analisis di bidang biologi maupun di bidang kimia karena murah, dan sensitifitas yang tinggi. Aplikasi dari sensor QCM sangat luas dalam berbagai bidang, diantaranya pengukuran lapisan tipis, analisis kimia, pengukuran sensor gas, pengukuran sensor kelembaban, dan biosensor (Jaruwongrungrsee dkk, 2009). Prinsip kerja dari QCM yaitu mengukur perubahan pergeseran frekuensi pada resonator kristal kuarsa akibat adanya penambahan massa pada permukaan sensor (Sauerbrey, 1959). Beberapa faktor dapat mempengaruhi frekuensi osilasi dari kristal kuarsa yaitu ketebalan, kepadatan dan modulus geser dari kristal kuarsa.

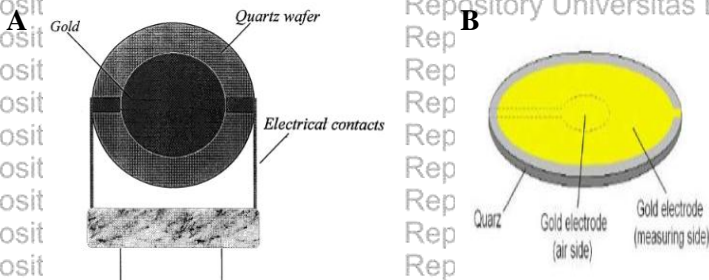
Ketebalan kristal sangat berpengaruh terhadap sensitifitas massa, karena ketebalan kristal menentukan frekuensi resonansi QCM. Semakin tipis kristal kuarsa akan menyebabkan frekuensi resonansi yang semakin tinggi, yang pada akhirnya meningkatkan sensitivitas sensor. Tetapi semakin tipis kristal kuarsa tersebut cenderung semakin rapuh dan mudah pecah. Besarnya diameter kristal kuarsa juga mempengaruhi stabilitas kerja dari QCM.

Biasanya ukuran diameter dari kristal kuarsa yaitu 0,5 inci (Sullivan & Guilbault, 1999).



Gambar 2.1 Pola potong kristal kuarsa dengan berbagai sudut arah potong (Sullivan & Guilbault, 1999); (Jie, 2006).

QCM bekerja berdasarkan sensitifitas frekuensi dari kristalnya terhadap variabel-variabel seperti massa, viskositas di sekitar medium, temperature dan tekanan. Efek kumulatif yang dihasilkan dari semua faktor tersebut akan menghasilkan perubahan total dalam frekuensi (Hussain dkk., 2005).



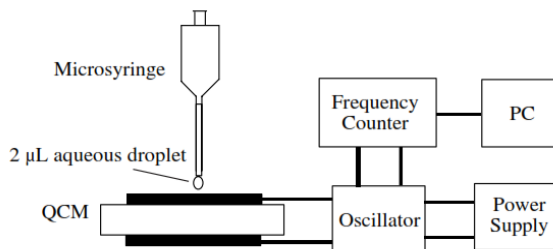
Gambar 2.2 Struktur Sensor QCM. Lapisan kristal kuarsa diapit oleh logam elektroda di kedua sisinya. **A)** sensor QCM tampak atas. **B)** Sensor QCM tampak samping (KSV Instrument Ltd. 1980); (Sullivan & Guilbault, 1999).

Sensor QCM bekerja berdasarkan persamaan Saurbrey. Persamaan Saurbrey menjelaskan bahwa besarnya pergeseran frekuensi (Δf) sebuah resonator kristal kuarsa sebanding dengan perubahan / penambahan massa yang ada di permukaannya. Sehingga dengan pengamatan terhadap perubahan frekuensi maka dapat diketahui besar perubahan massanya. Yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\Delta f = \frac{-2 f_0^2 \Delta m}{A(\rho_q \mu_q)^2} \quad (2.1)$$

Dimana f_0 merupakan nilai dari frekuensi resonansi awal Kristal (Hz), Δm merupakan perubahan massa / banyaknya penambahan massa pada Kristal (g), A merupakan luas permukaan kristal diantara dua buah elektroda (cm^2), ρ_q merupakan densitas kristal yaitu sebesar 2.649 g/cm^3 , dan μ_q merupakan modulus geser dari kristal kuarsa yaitu sebesar $2,947 \times 10^{11} \text{ g/(cm. s}^2)$ (Heng, 2004).

Rangkaian pengukur massa dengan menggunakan sensor QCM umumnya terdiri dari kristal kuarsa, *oscillator*, *power supply*, frekuensi *counter* dan komputer (Zuxuan Lin, 1996). Dalam aplikasinya sebagai biosensor, QCM harus melewati proses yang penting yaitu proses immobilisasi. Immobilisasi molekul merupakan salah satu metode menempelkan biomolekul bersama dengan reagen pada permukaan transduser (sensor).

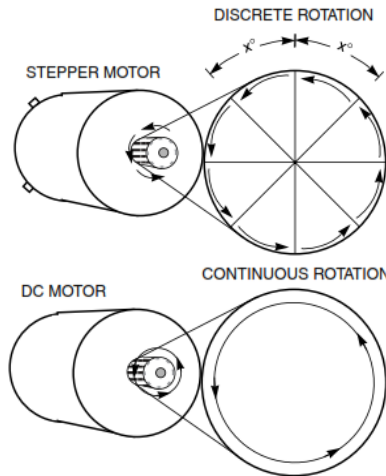


Gambar 2.3 Skematik rangkaian pengukur massa dengan menggunakan sensor QCM (Zuxuan, 1996).

2.2 Motor Stepper

Motor *stepper* merupakan sebuah motor listrik DC *brushless* yang mengubah rotasi putaran penuh menjadi langkah-langkah (*step*) putaran yang sama. Prinsip kerja dari motor *stepper* yaitu mengubah sinyal-sinyal listrik ke dalam gerakan + gerakan mekanis diskrit. Pada umumnya bagian rotor dari motor *stepper* merupakan magnet permanen (*ferromagnetic*) dan hanya memiliki kumparan pada bagian *stator*. Sehingga dengan konstruksi tersebut maka motor *stepper* dapat diatur posisinya sesuai dengan sinyal masukkan dan dapat berputar kearah yang diinginkan, baik searah jarum jam (*clockwise*) atau sebaliknya (*counter clockwise*) (Syahrul, 2005).

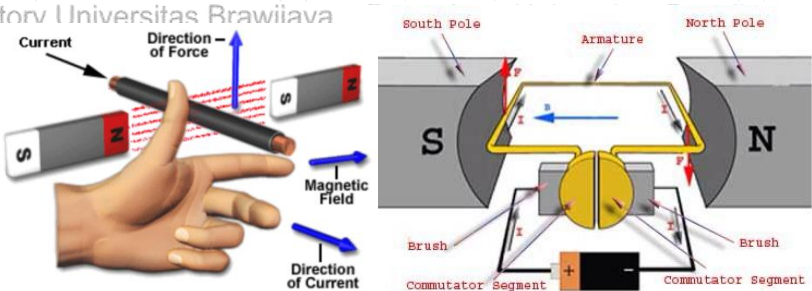
Secara fisik, beberapa motor mempunyai bentuk besar, tetapi cukup dengan arus kecil untuk mengendalikan motor *stepper* dalam orde miliampere. Motor *stepper* berbeda dengan motor DC, motor *stepper* menghasilkan rotasi diskrit pada putaran poros motor, sedangkan motor DC menghasilkan rotasi *continuous* pada putaran motor (Grant, 2005). Motor *stepper* biasanya digunakan pada aplikasi yang membutuhkan rotasi putaran pada sudut tertentu namun tidak memerlukan *feedback* dari sensor posisi. Pengendalian motor *stepper* dapat dilakukan dengan *open loop*, besar sudut perpindahan dapat diketahui dengan menghitung jumlah *step* yang dilakukan.



Gambar 2.4 Perbedaan putaran penuh antara motor *stepper* dan motor DC. A) Motor Stepper B) Motor DC (Kumar & Valarmathi, 2013).

2.2.1 Prinsip kerja motor *stepper*

Motor *stepper* merupakan motor DC yang memiliki prinsip kerja seperti sebuah konduktor dialiri arus listrik yang diletakkan di dalam medan magnet. Akan timbul gaya yang membuat konduktor berotasi seiring dengan arus listrik yang melewati konduktor, arah gaya pada konduktor akan sesuai dengan arah arus listrik yang mengalir di konduktor tersebut.



Gambar 2.5 Gaya yang timbul pada kabel berarus listrik yang diletakkan pada daerah medan magnet, dan aturan tangan kiri Fleming (Anonymous¹).

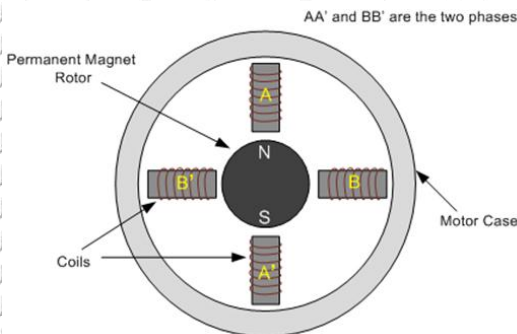
Secara fisis cara kerja motor *stepper* yaitu berdasarkan gaya yang timbul dari interaksi medan elektromagnet disekitar konduktor dengan medan magnet yang melingkupinya. Gaya tersebut merupakan gaya Lorentz yang dapat dijelaskan menurut persamaan (2.2). Arah gaya yang timbul dapat ditentukan dengan aturan kaidah tangan kiri Fleming.

$$F = i(L \times B) \quad (2.2)$$

Dengan F merupakan gaya yang timbul (Newton), i merupakan arus yang mengalir dalam konduktor (Ampere), L merupakan panjang sebuah konduktor dan B merupakan medan magnet homogen (Tesla).

Penyusun utama motor *stepper* yaitu *rotor* dan *stator*, bagian *rotor* merupakan magnet permanen, sedangkan bagian *stator* berupa kumparan elektromagnet. Motor *stepper* dapat berotasi dengan sudut *step* yang bervariasi, hal ini bergantung pada jenis motor *stepper* dan aplikasi atau kebutuhan yang diinginkan. Ukuran *step* berkisar antara

0,9^o sampai 90^o (Syahrul, 2005). Setiap motor *stepper* tidak dibatasi mengenai jumlah kumparan atau bagian *stator*. Semakin banyak kumparan maka rotasi rotor akan semakin kecil rotasi per *step*-nya.

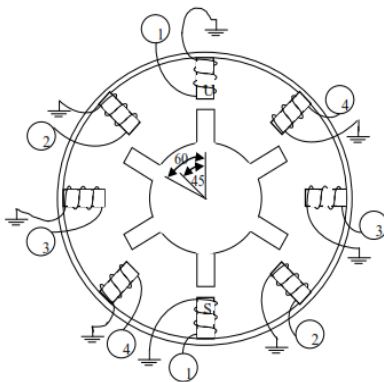


Gambar 2.6 Motor *stepper* jenis dua *phase* magnet permanen (Anonymous²).

Jumlah kumparan elektromagnet dari motor *stepper* bisa berjumlah banyak. Untuk mempermudah pengaturannya, setiap kumparan tidak diatur sendiri – sendiri melainkan pengaturan untuk beberapa kumparan dijadikan satu. Posisi rotor dari motor *stepper* akan berputar sesuai dengan kombinasi medan magnet yang dihasilkan oleh *stator*. Terdapat beberapa metode *switching* kumparan elektromagnet untuk menghasilkan gerakan posisi *rotor* pada motor *stepper* (Syahrul, 2005).

Arah dari kumparan dibuat sedemikian rupa, sehingga akan memberikan *energizing* ke salah satu kumparan yang akan membangkitkan medan utara atau selatan, sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 2.7. Bagian *rotor* tersusun satu sama lain secara berdekatan sehingga membentuk sudut 60^o, jarak antara sudut *stator* dan *rotor* yaitu 15^o karena kutub *stator* satu dan yang lainnya berjarak 45^o. Di dalam kondisi *open loop*, motor *stepper* harus melakukan putaran *step* sesuai dengan kontrol perintah yang diberikan dari mikrokontroler yaitu berupa kode – kode logika terhadap motor *stepper*. Sinyal *drive* motor *stepper* berupa gelombang persegi, sehingga dapat dengan mudah untuk mengendalikan motor *stepper* melalui sirkuit digital yang menghasilkan gelombang persegi dengan efisiensi yang tinggi (Maior dkk., 2012). Pengaruh pembebanan terhadap kinerja dari motor *stepper* yaitu apabila mendapatkan beban terlalu besar, maka

motor akan bergerak pelan atau berhenti bergerak. Hal ini disebabkan karena beban melebihi torsi yang dimiliki oleh motor *stepper* tersebut sehingga torsi dari motor *stepper* tidak cukup untuk melakukan gerak *stepping*. Kegagalan *stepping* ini disebut sebagai *stalling* yaitu keadaan dimana rotor dapat bergerak sedikit ketika mendapatkan *step* pulsa tetapi kemudian akan kembali pada kondisi semula.



Gambar 2.7 Motor *stepper* empat kumparan (Syahrul, 2005).

Pada kumparan pertama terlihat sumbu rotor dengan garis *flux* yang dihasilkan oleh kutub utara dan selatan. Rotor akan mengalami *step* pergerakan sebesar sudut 15° searah jarum jam, hal ini terjadi karena adanya proses *de energizing* atau pemutusan energi pada kumparan 1 dan *energizing* atau pemberian energi pada kumparan 2. Rotor selanjutnya yang dekat dengan kumparan 2 akan segaris dengan kutub stator garis *flux* 2. *Step* 15° berikutnya dihasilkan dari *energizing* kumparan 3, kumparan 4, kemudian proses tersebut akan *looping* sesuai dengan jumlah *step* yang diinginkan (Syahrul, 2005). Putaran *step* dari motor *stepper* dapat dilakukan dengan pengaturan dua arah rotasi yaitu searah jarum ataupun berlawanan arah jarum jam, hal ini mengacu pada kombinasi kode digital dari mikrokontroler.

Dilihat dari prinsip kerja motor *stepper*, maka motor *stepper* memiliki beberapa keuntungan, diantaranya yaitu:

1. Gerakan pulsa konversi yang dihasilkan linier, sehingga memungkinkan dengan sistem *loop* terbuka.
2. *Memorize* posisi.

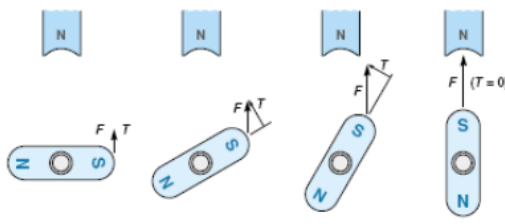
3. Memungkinkan untuk *start*, *stop* dan *reverse* tanpa kehilangan *step*.
4. Memiliki resolusi dan presisi yang tinggi.
5. *Input* motor *stepper* berupa signal diskrit / digital. (Barabas & Morar, 2011).

Kombinasi dari kode – kode digital akan menghasilkan putaran motor dengan arah tertentu dalam rotasi motor *stepper*. Salah satu keuntungan dari motor *stepper* yaitu dapat dengan mudah dioperasikan sebagai step maju ataupun mundur tanpa kehilangan resolusi dari setiap *step*.

Tabel 2.1 Kode digital putaran motor *stepper* besar sudut 15° per *step*

Searah jarum jam (Clock wise)				Berlawanan jarum jam (Counter Clock wise)			
Kumparan				Kumparan			
1	2	3	4	1	2	3	4
1	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	1	0

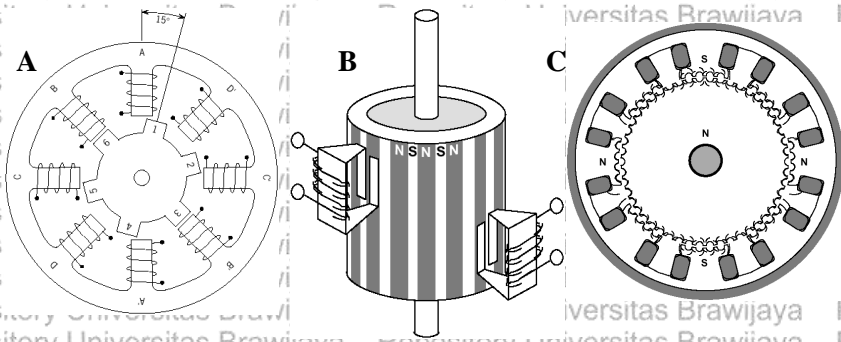
Pertambahan torsi pada setiap *step* motor *stepper* bergantung pada sudut porosnya. Torsi pada motor akan bernilai 0 ketika posisinya berada tepat sejajar dengan kumparan yang sedang mendapatkan energi (*energizing*). Gaya tarik yang terjadi yaitu antara ujung *rotor* (S) selatan dengan kutub medan *stator* (N) utara yang akan menimbulkan gaya tarik (F) lebih besar sedangkan torsi (T) kecil. Besar torsi maksimum adalah ketika rotor berjarak sekitar 45° dari kutub magnet *stator* (Syahrul, 2005). Apabila posisi *rotor* sejajar dengan kutub magnet *stator*, maka nilai torsi akan nol. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Gaya dan torsi dari sebuah rotor

2.2.2 Jenis-jenis motor stepper

Motor *stepper* dapat dibedakan berdasarkan struktur dan berdasarkan rancangan rangkaian pengendalinya. Berdasarkan struktur penyusunnya motor *stepper* dibagi menjadi tiga jenis, yaitu jenis *Variable Reluctance* (VR), *permanent magnet* (PM) dan jenis *Hybrid* (HB).



Gambar 2.9 Jenis motor *stepper* berdasarkan struktur penyusunnya. **A)** *Variable Reluctance* (VR). **B)** *Permanent magnet* (PM). **C)** *Hybrid* (HB). (Anonimus³).

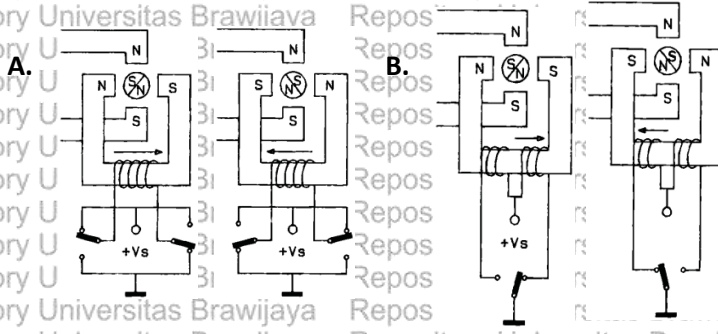
Secara struktural, motor *stepper* jenis *Variable Reluctance* (VR) merupakan yang paling sederhana. Motor *stepper* VR terdiri atas sebuah lilitan *stator* dan sebuah rotor besi dengan beberapa gerigi. Kutub - kutub *stator* akan termagnetisasi ketika dialiri arus DC, kemudian akan terjadi rotasi ketika gigi - gigi *rotor* tertarik oleh kutub - kutub *stator* (Grant, 2005). Motor *stepper* jenis *Permanent Magnet* (PM) tersusun dari lapisan magnet permanen yang diselengi

kutub – kutub yang berlawanan intensitas *flux* magnet dalam motor akan meningkat, karena adanya magnet permanen, sehingga akan menghasilkan torsi yang lebih besar (Lyshevski, 2014). Kombinasi antara kedua jenis motor VR dan PM menghasilkan jenis motor *Hybrid* (HB), motor *stepper* HB tersusun dari gigi + gigi *rotor* seperti motor VR dan memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada poros batangnya seperti motor jenis PM. Motor *stepper* HB banyak digunakan untuk berbagai aplikasi karena memiliki kinerja step angel yang relatif kecil yaitu dari range $0,5^{\circ}$ – $1,8^{\circ}$ (Rao & Prasad, 2012).

Rangkaian pengendali motor *stepper* berfungsi untuk mengontrol *supply* daya dan pengendalian putaran motor. Berdasarkan rangkaian pengendalinya, motor *stepper* dibagi menjadi dua jenis yaitu unipolar dan bipolar. Perbedaan mendasar antara unipolar dan bipolar yaitu terletak pada pengontrol kumparannya.

Pengendali motor *stepper* unipolar lebih mudah dirancang, karena hanya membutuhkan satu *switch* disetiap lilitannya, sehingga untuk membuat motor berotasi hanya perlu menerapkan kombinasi pulsa digital berupa tegangan positif dan nol / *ground* pada salah satu lilitan, sementara pada bagian *center tap* dari lilitan dicatu dengan tegangan positif konstan. Motor *stepper* jenis unipolar sangat banyak diimplementasikan dengan perangkat diskrit, karena rangkaian *drive* pengendalinya sederhana (Hopkins, 2012).

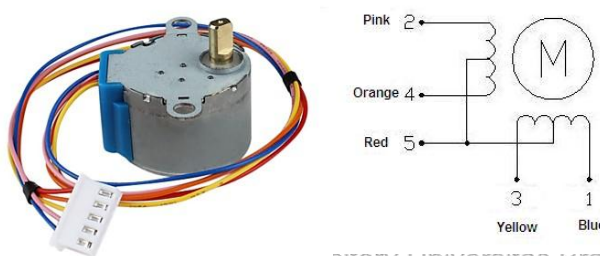
Berbeda dengan jenis motor *stepper* unipolar, rangkaian pengendali motor *stepper* bipolar memerlukan rangkaian pengendali yang lebih kompleks. Motor *stepper* bipolar memiliki satu kumparan per fasa, dan membutuhkan driver motor H- *bridge*. Motor *stepper* dengan konfigurasi lilitan bipolar memerlukan sinyal pulsa dari negatif ke positif atau sebaliknya secara berubah – ubah, oleh karena itu motor *stepper* bipolar memiliki keunggulan dalam hal torsi yang besar, dibandingkan dengan jenis motor *stepper* unipolar. Kedua jenis motor *stepper* memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing. Motor *stepper* jenis unipolar memiliki keuntungan dalam hal perancangan sirkuit pengedali yang tidak membutuhkan rangkaian yang begitu kompleks, tetapi disamping itu, motor *stepper* jenis unipolar memiliki kelemahan dalam hal torsi yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi karena arus yang mengalir hanya melalui setengah kumparan. Konfigurasi *wiring* pada motor *stepper* ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Konfigurasi motor *stepper*. A) Motor *Stepper* Bipolar. B) Motor *Stepper* Unipolar (Hopkins, 2012).

2.2.3 Motor *stepper* 28BYJ – 48

Motor *stepper* 28BYJ-48 5V merupakan salah satu jenis motor *stepper* unipolar yang banyak digunakan dalam aplikasi luas. Motor *stepper* jenis 28BYJ-48 ini dilengkapi dengan *gear box ratio* sehingga dengan ukuran motor *stepper* yang kecil dapat menghasilkan torsi yang cukup besar, tetapi secara keseluruhan akan menghasilkan gerakan rotasi yang pelan *slow motion*. Motor *stepper* ini memiliki empat fase, dengan koneksi 5 kabel.

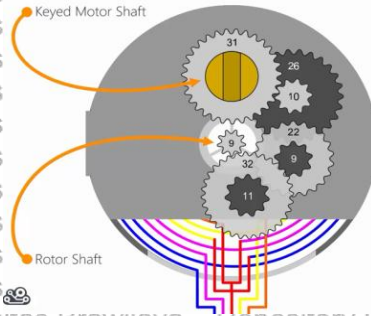


Gambar 2.11 Motor *stepper* 28BYJ-48 dengan 5 koneksi kabel (Kiatronics, 2001).

Motor *stepper* 28BY-48 tersusun atas *case*, *coils*, *rotor* dan *gearbox*. *Case* dari motor *stepper* ini terbuat dari aluminium dan plastik. *Coils* motor *stepper* ini terdiri dari dua koil dengan konfigurasi *centre tap* dan unipolar. *Coils* terdiri dari 8 gigi di dalam 4 layer, satu gigi mendefinisikan satu *step* pergerakan. Pada bagian

rotor, motor *stepper* 28BYJ-48 tersusun dari magnet permanent di dalam bodi plastik, penggerak / *shaft* pada *rotor* terbuat dari sebuah *gear* yang tersusun dari 9 gigi.

64:1 GEAR RATIO...



Gambar 2.12 Gear Ratio pada motor *stepper* 28BYJ-48 (Kiatronics, 2001)

Gear box dan penggerak pada motor *stepper* 28BYJ-48 memiliki rasio 64:1. Sehingga dengan konfigurasi tersebut maka *rotor* membutuhkan 64 *full* rotasi untuk menggerakkan 1 *step* putaran penggerak terluar. Untuk menghitung rasio dari *gear box* dapat diketahui dengan menggunakan rumus perbandingan.

$$\text{Rasio} = \frac{\text{jumlah gigi luar}}{\text{jumlah gigi dalam}} \quad (2.3)$$

Sehingga rasio *gear box* dapat dihitung,

$$\frac{32}{9} = 3,555$$

$$\frac{22}{11} = 2,000$$

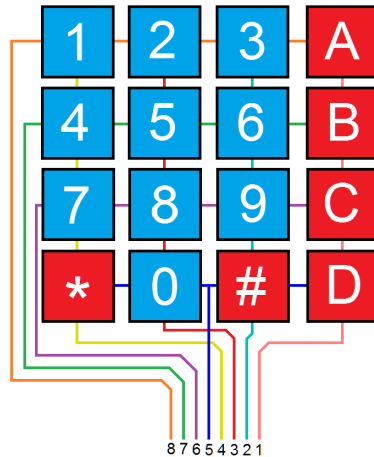
$$\frac{26}{9} = 2,888$$

$$\frac{31}{10} = 3,100$$

Maka secara keseluruhan, rasio *gear box* pada motor adalah $3,555 \times 2,000 \times 2,888 \times 3,100 = 63,654$, atau dibulatkan menjadi 64 (Kiatronics, 2001).

2.3 Keypad

Keypad merupakan *device* masukan yang berfungsi untuk memasukan kode-kode angka ataupun huruf. *Keypad* 4x4 adalah *keypad* yang terdiri dari *push button* sebanyak 16 buah. Susunan *pad* ini membentuk matriks yaitu 4 baris dan 4 kolom. *Keypad* 4x4 memiliki 8 pin yang terdiri dari 4 pin penyusun horizontal didefinisikan sebagai baris dan 4 pin penyusun vertikal sebagai kolom. Konfigurasi *keypad* dalam bentuk matriks umumnya dijadikan sebagai pin input atau output untuk mempermudah dalam hal pengaturan data dari mikrokontroler. Mekanisme kerja dari *keypad* ini dengan metode *scanning* yaitu kombinasi hubungan apabila ada kondisi kolom dan baris yang ditekan. Proses pembacaan dimulai dengan membaca kolom. Pembacaan kolom secara berurutan dari kolom 1 sampai dengan kolom 4. Proses *scanning* dimulai dengan memberikan nilai *output* pada kolom 1, selanjutnya akan di deteksi *push button* di baris 1 sampai baris 4, apabila salah satu *push button* terdeteksi pada kombinasi baris dan kolom tertentu maka *keypad* akan memberikan kode kepada mikrokontroler sehingga akan menghasilkan angka / huruf tertentu sesuai dengan pengaturan pada output *keypad*. Seperti terlihat pada gambar 2.13 yang merupakan skematik dari rangkaian *keypad* 4x4.



Gambar 2.13 Konfigurasi matriks pada *keypad* 4x4 (Parallax, 2011).

2.4 LCD

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan *device* keluaran yang dapat diprogram untuk menampilkan karakter baik itu angka ataupun huruf. Prinsip kerja LCD sama dengan penampil yang berbasis *dot matrix*. Terdapat dua macam jenis LCD, yaitu LCD grafik dan LCD teks. LCD yang digunakan untuk menampilkan angka atau teks dalam bentuk kode ASCII, disebut LCD teks. LCD teks dibagi kedalam sel-sel dan setiap sel hanya dapat menampilkan karakter ASCII. Berbeda dengan LCD teks, LCD grafik tersusun dari kumpulan *dot matrix*, sehingga LCD grafik dapat menampilkan gambar. Salah satu contoh dari LCD teks yaitu LCD 16x4 yang dibuat oleh perusahaan Vishay, dirancang untuk menampilkan 16 buah karakter dan 4 baris. Untuk mengoperasikan LCD dapat menggunakan dua mode yaitu 8 bit dan 4 bit. Jumlah *pinout* LCD ini yaitu 16 buah, 14 pin sebagai pengontrol dan 2 pin sebagai *supply*. Setiap pin memiliki fungsi dan kegunaan masing – masing. Gambar 2.14 menjelaskan mengenai fungsi dari masing – masing *pinout* LCD. Mode operasi 8 bit dan 4 bit memiliki perbedaan terutama dalam transfer data dan penggunaan *pinout* (Vishay, 2012).



Gambar 2.14 *Pinout* modul LCD teks

Gambar 2.14 menjelaskan tentang *pinout* dari modul LCD teks. Kelebihan dari modul LCD yaitu proses perancangan yang mudah, hemat energi dan dapat menampilkan karakter – karakter baik angka maupun huruf yang sebelumnya dikonversi kedalam kode-kode ASCII.

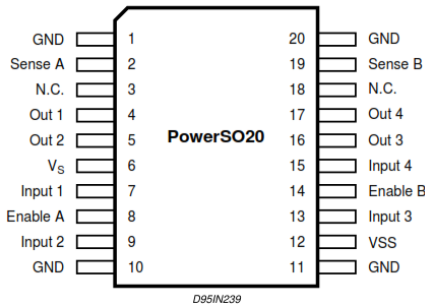
Tabel 2.2 Deskripsi *pinout* LCD 16x4

Fungsi	PIN	Deskripsi	Data Logika	Keterangan
<i>Ground</i>	1	VSS	-	0V
Tegangan Sumber	2	VDD	-	+5v
Kontras	3	VEE	-	0-VDD
Pengontrol LCD	4	RS	0/1	
	5	R/W	0/1	
	6	E	<i>Floating</i> / 0/1	
Data	7	D0	0/1	Bit 0
	8	D1	0/1	Bit 1
	9	D2	0/1	Bit 2
	10	D3	0/1	Bit 3
	11	D4	0/1	Bit 4
	12	D5	0/1	Bit 5
	13	D6	0/1	Bit 6
	14	D7	0/1	Bit 7
Anoda	15	<i>Backlight</i>	-	
Katoda	16	<i>Backlight</i>	-	

2.5 Driver Motor L298

Arus dan tegangan yang mengalir ke motor *stepper* haruslah sesuai dengan yang dibutuhkan oleh motor *stepper*. Hal ini bertujuan untuk untuk mengendalikan dan menggerakkan motor *stepper*. Arus dari mikrokontroler yaitu sebesar 300mA, sehingga tidak cukup untuk menyuplai motor *stepper*, oleh karena itu motor *stepper* tidak bisa langsung dihubungkan dengan mikrokontroler (Microchip, 2006).

Driver motor L298 merupakan *driver* motor dalam bentuk *integrated circuit* / IC sehingga dapat dengan mudah dihubungkan dengan mikrokontroler sebagai pengendali gerak motor *stepper*. Secara fisik, *driver* motor L298 telah didesain menjadi lebih efisien dari pada *driver* motor sebelumnya yang masih menggunakan desain analog yaitu sistem *relay* dengan transistor sebagai *switch*. *Driver* motor L298 memiliki dua jenis yaitu L298P dan L298N, perbedaan tersebut hanya pada desain fisik. L298P merupakan desain SMD yang menjadikan *driver* motor dengan desain kecil, sedangkan L298N didesain dengan bentuk DIP dan memiliki ukuran yang lebih besar dari pada L298P. (STMicroelectrionics, 2000).



Gambar 2.15 IC driver motor L298P (STMicroelectronics, 2000).

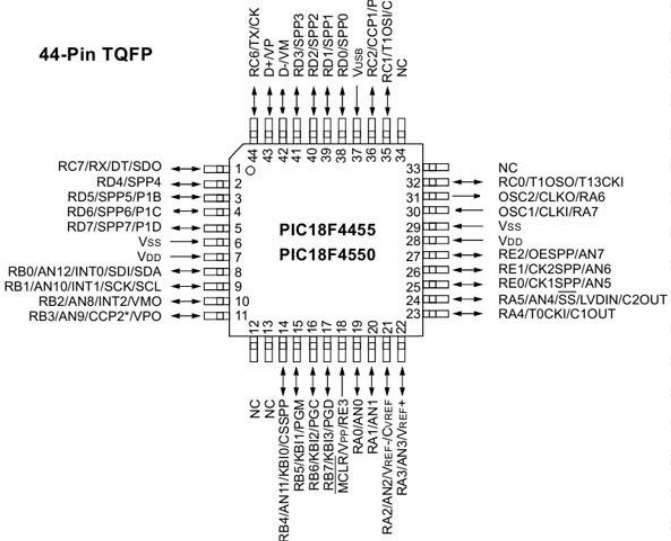
Gambar 2.15 menjelaskan tentang konfigurasi *pinout* dari IC driver motor L298P. V_s merupakan *pinout* untuk catu daya masukan motor, *pinout sense* berfungsi untuk pengendalian arus motor *stepper*, pengendali putaran kecepatan motor diatur melalui *pinout enable A* dan B. Pengendalian arah motor diatur oleh *pinout input 1* sampai 4, sedangkan *pinout output 1* sampai 4 berfungsi untuk keluaran kode digital dari mikrokontroler yang dapat mengendalikan pergerakan motor *stepper* (STMicroelectronics, 2000).

2.6 Mikrokontroler PIC 18F4550

Mikrokontroler merupakan suatu *device* yang berfungsi sebagai otak dari suatu rangkaian elektronika. Mikrokontroler dapat menyimpan program yang dapat dieksekusi atau dijalankan guna mengontrol *device* lainnya yang terintegrasi dalam rangkaian elektronika. Suatu kelebihan dari mikrokontroler yaitu fasilitas RAM dan pin I/O sudah tertanam di dalam *device* mikrokontroler, sehingga memudahkan dalam hal fungsional dan juga secara dimensi mikrokontroler menjadi sangat ringkas dan efisien. Secara umum, mikrokontroler terdiri dari *Central Processing Unit* (CPU), fasilitas I/O, fasilitas memori dan fasilitas pendukung lainnya seperti *Converter Analog to Digital* (ADC).

Mikrokontroler PIC18F4550 merupakan mikrokontroler USB yang diproduksi oleh *Microchip, Inc.* Salah satu keunggulan dari mikrokontroler PIC18F4550 ini yaitu mendukung fitur komunikasi USB (*Unit Serial Bus*), teknologi *nano watt*, selain itu dalam hal eksekusi program, mikrokontroler PIC18F4550 lebih unggul, karena memori program dan memori data diakses dengan *bus* yang berbeda. Mikrokontroler PIC18F4550 terdiri dari 44 Pin.

44-Pin TQFP



Gambar 2.16 Pin diagram PIC18F4550 (Microchip, 2006).

Gambar 2.16 menjelaskan tentang pin diagram mikrokontroler PIC18F4550. Masing – masing *pinout* dari mikrokontroler memiliki fungsi sendiri – sendiri. Pada mikrokontroler PIC18F4550 memiliki beberapa fitur seperti 13 *channel* ADC, ICSP, *timer*, USART, USB, dan *bidirectional* *pinout* yang terbagi dalam 5 *port*. *Port* I/O dapat diatur sebagai *input* ataupun *output*, dengan mengatur program untuk register di dalam mikrokontroler. *Port* I/O dibagi menjadi 5 *port* yaitu *port* A, *port* B, *port* C, *port* D, dan *port* E. Masing – masing *port* terdiri dari beberapa pin. *Port* A terdiri dari 6 buah pin, *port* B terdiri dari 8 pin, *port* C terdiri dari 7 pin, *port* D terdiri dari 8 pin, dan *port* E terdiri dari 3 pin (Microchip, 2006). Mikrokontroler PIC18F4550 mendukung kompiier bahasa C, dengan kemampuan program *erase* / *write* sebanyak 100.000 kali dalam memori *flash* program. Memiliki *range* tegangan 2V sampai 5,5V. Ada beberapa pengaturan konfigurasi *register* dalam mikrokontroler PIC18F4550, diantaranya yaitu LAT, TRIS dan PORT. Pengaturan LAT digunakan untuk mengatur fungsi *pinout* sebagai keluaran, pengaturan TRIS digunakan sebagai penunjuk *register*, sedangkan PORT digunakan sebagai inisialisasi dari *pinout*.

2.6.1 Konfigurasi osilator

Dalam mikrokontroler terdapat osilator yang berfungsi sebagai pembangkit pulsa *clock* untuk proses sinkronisasi yang berlangsung dalam mikrokontroler. Salah satu cara untuk membangkitkan pulsa maka diperlukan rangkaian *crystal* dengan kapasitor. Mikrokontroler PIC18F4550 menyediakan beberapa pilihan mode untuk jenis osilator. Untuk mengaktifkan pilihan mode osilator, perlu mengatur register untuk memilih jenis osilator. Pengaturan register di dalam mikrokontroler untuk memilih jenis osilator yaitu dengan konfigurasi FOSC3 : FOSC0. Konfigurasi bits dapat dipilih sesuai dengan mode yang diinginkan (Microchip, 2006).

Tabel 2.3 Tipe pengaturan osilator dalam PIC18F4550

No.	Tipe Osilator	Keterangan
1.	XT	<i>Crystal / resonator</i>
2.	XTPLL	<i>Crystal / resonator</i> dengan PLL diaktifkan
3.	HS	<i>High speed crystal / resonator</i>
4.	HSPLL	<i>High speed crystal / resonator</i> dengan PLL
5.	ECIO	<i>External clock</i> dengan I/O pada RA6
6.	ECPLL	<i>External clock</i> dengan PLL dan keluran $\frac{Fosc}{4}$ pada RA6
7.	ECPIO	<i>External clock</i> dengan PLL dan I/O pada RA6
8.	INTHS	<i>Internal osilator</i> digunakan untuk clock mikrokontroler, HS digunakan sebagai sumber <i>clock</i> USB
9.	INTXT	<i>Internal osilator</i> sebagai <i>clock</i> mikrokontroler, XT digunakan sebagai sumber <i>clock</i> USB
10.	INTIO	<i>Internal osilator</i> sebagai sumber <i>clock</i> mikrokontroler, EC digunakan sebagai sumber <i>clock</i> USB, I/O digital pada RA6
11.	INTCKO	Osilator <i>internal</i> untuk sumber <i>clock</i> mikrokontroler, EC digunakan untuk sumber <i>clock</i> USB, dan keluaran osilator $\frac{Fosc}{4}$ pada RA6
12.	EC	<i>External clock</i> dengan keluaran $\frac{Fosc}{4}$

2.6.2 Modul komparator

Mikrokontroler PIC18F4550 memiliki modul komparator analog yang terdiri dari dua komparator yang dapat diatur dengan beberapa pilihan pengaturan. *Input* analog dapat dipilih dari pin RA0 sampai RA5. Untuk mengatur komparator *input* dan *output* maka diperlukan pengaturan konfigurasi *register* CMCON (Microchip, 2006).

Tabel 2.4 Register kontrol komparator (CMCON)

R-0	R-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1
C2OUT	C1OUT	C2INV	C1INV	CIS	CM2	CM1	CM0
bit 7							bit 0

Tabel 2.4 menjelaskan tentang pengaturan pada register komparator CMCON. Dimana R yaitu bit yang terbaca, W merupakan bit yang ditulis. Bit-bit di register CMCON dapat diisi sesuai dengan keperluan dalam hal komparator. Kombinasi pengaturan bit dijelaskan dalam tabel 2.5 dan tabel 2.6.

Tabel 2.5 Konfigurasi bit pada register CMCON

Bit	Keterangan
Bit 7	<p>C2OUT: Comparator 2 Outputbit</p> <p>Ketika C2INV = 0:</p> <p>1 = C2 VIN+ > C2 VIN0</p> <p>0 = C2 VIN+ < C2 VIN-</p> <p>Ketika C2INV = 1:</p> <p>1 = C2 VIN+ < C2 VIN-</p> <p>0 = C2 VIN+ > C2 VIN-</p>
Bit 6	<p>C1OUT: Comparator 1 Outputbit</p> <p>Ketika C1INV = 0:</p> <p>1 = C1 VIN+ > C1 VIN-</p> <p>0 = C1 VIN+ < C1 VIN-</p>

Tabel 2.7 menjelaskan tentang pengaturan pada *register* interupsi kontrol *register* INTCON2. Dimana R yaitu bit yang terbaca, W merupakan bit yang ditulis. Bit – bit di register INTCON2 dapat diisi sesuai dengan keperluan dalam hal kebutuhan interupsi. Kombinasi pengaturan bit dapat dilihat dalam tabel 2.8.

Tabel 2.8 Konfigurasi bit pada interupsi kontrol *register* 2 (INTCON2)

Bit	Keterangan
Bit 7	RBPU: PORTB <i>Pull-up Enable bit</i> 1 = All PORTB <i>pull-ups</i> tidak diaktifkan 0 = PORTB <i>pull-ups</i> diaktifkan oleh nilai latch masing – masing port
Bit 6	INTEG0: Interupsi Eksternal 0 <i>Edge Select bit</i> 1 = <i>Interrupt on rising edge</i> 0 = <i>Interrupt on falling edge</i>
Bit 5	INTEG1: Interupsi Eksternal 1 <i>EdgeSelect bit</i> 1 = Interupsi ketika <i>edge</i> naik 0 = Interupsi ketika <i>edge</i> turun
Bit 4	INTEG2: Interupsi Eksternal 2 <i>Edge</i> 1 = Interupsi ketika <i>edge</i> naik 0 = Interupsi ketika <i>edge</i> turun
Bit 3	Tidak di implementasikan, dibaca “0”
Bit 2	TMR0P: TMR0 <i>Overflow</i> interupsi prioritas bit 1 = Prioritas tinggi 0 = Prioritas rendah
Bit 1	Tidak di implementasikan, dibaca “0”
Bit 0	RBIP: RB <i>PortChangeInterrupt Priority bit</i> 1 = Prioritas tinggi 0 = Prioritas rendah

2.6.4 ADC (Analog to Digital Converter) Module

Mikrokontroler PIC18F4550 memiliki modul ADC 10 bit yang terbagi kedalam 13 *channel*. Modul ini berfungsi untuk proses konversi masukan analog menjadi 10 bit digital. Konverter modul terbagi kedalam lima register, diantaranya yaitu A/D *Result High Register* (ADRESH), A/D *Result Low Register* (ADRESL), dan A/D *Control Register 1 – 2* (ADCON0, ADCON1 dan ADCON2). Untuk

mengaktifkan modul ADC maka register yang harus diatur yaitu register ADCON0 (Microchip, 2006).

Tabel 2.9 ADC kontrol register 0 (ADCON0)

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
		CHS3	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON
bit 7							bit 0

Tabel 2.9 menjelaskan tentang register ADC yang ada dalam mikrokontroler PIC18F4550. Untuk mengatur atau mengaktifkan fungsi ADC dari mikrokontroler maka pengaturan register ADON pada bit 0 dapat di *setting* dengan memasukan biner 1 untuk mengaktifkan modul ADC, sedangkan biner 0 untuk mematikan fungsi dari modul ADC (Microchip, 2006). Selanjutnya untuk memilih dan mengatur *pinout* tertentu sebagai *port* masukan atau keluaran, maka dapat diatur pada kontrol register ADCON1 yang akan dijelaskan dalam tabel 2.10.

Tabel 2.10 Kontrol register 1 (ADCON1)

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W(-)	R/W(-)	R/W(-)	R/W(-)
		VCFG0	VCFG0	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

Tabel 2.10 menjelaskan tentang register ADCON1 yang berfungsi untuk memilih *pinout* yang akan dijadikan sebagai masukan analog atau digital. Dengan mengatur konfigurasi bit PCFG pada register ADCON1, dari bit 0 sampai bit 3. Ketika diberi masukan biner 1111 maka setingan *pinout* dari port ADC akan menjadi *port* digital, sedangkan ketika diberi masukan biner 0000 maka *port* ADC akan menjadi *port* analog (Microchip, 2006).

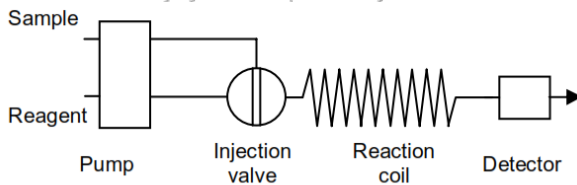
2.7 Analisis Flow Injection (FIA)

Ada beberapa metode yang digunakan untuk menganalisis proses kimia, salah satu metode alaisis kimia yaitu Analisis *Flow Injection* (FIA). FIA merupakan suatu metode untuk menganalisis proses kimia dengan cara menginjeksikan suatu *sample* kedalam suatu aliran *carrier*, sehingga *sample* akan terbawa oleh aliran *carrier* menuju sebuah detektor analit. Beberapa komponen

instrumentasi pendukung untuk realisasi metode FIA diantaranya yaitu sitem injeksi, medium transportasi dan reaktor, detektor dan sistem penggerak (Mulyono, 2012).

Sistem injeksi berfungsi untuk menginjeksikan sejumlah *sample* kedalam aliran pembawa. Sistem injeksi biasanya dilengkapi dengan unit penggerak yang berfungsi untuk menggerakkan larutan / cairan kedalam komponen lain di dalam sistem FIA. Ada beberapa jenis sistem penggerak dalam metode FIA, diantaranya yaitu menggunakan pompa peristaltik dan *syringe pump*. Keduanya memiliki keunggulan dan kelemahan masing – masing. Sistem reaktor dan transportasi berfungsi untuk mengalirkan *sample*, fasilitas untuk mengalirkan *sample* ini biasanya berupa selang atau pipa silinder. Pipa silinder memiliki diameter kecil sehingga dapat menyesuaikan dengan ukuran dari injektor *sample*. Kelebihan dari analisis kimia dengan menggunakan metode FIA diantaranya yaitu pelarut yang digunakan lebih sedikit, waktu analisis yang relatif cepat dan penggunaan alat yang tidak terlalu kompleks (Wulandari, 2011).

Kemungkinan kontaminasi udara luar akan relatif kecil, Keakuratan serta ketelitian akan menjadi faktor kelebihan lain dari analisis metode FIA, karena metode FIA ini meminimalisir kontak langsung antara operator dengan reagen (Mulyono & Faruq, 2013).



Gambar 2.17 Perinsip sederhana dari metode FIA (Gassmann & Pagel, 2007)

Gambar 2.17 menjelaskan tentang konsep sederhana dari metode analisis FIA. Sistem pompa akan memompa cairan / larutan dalam sistem. Dengan adanya *valve* injeksi maka sejumlah volume *sample* akan terinjeksi dengan larutan *carier* secara terus menerus dan akan memalui koil reaksi dan berakhir di detektor. *Valve* injeksi akan menjamin suplai *sample* dengan konstan dan dengan volume tertentu (Gassmann & Pagel, 2007).

2.8 Tekanan Dalam Zat Cair

Gaya gravitasi merupakan salah satu penyebab timbulnya tekanan pada zat cair. Gaya gravitasi bekerja pada setiap bagian zat cair. Tekanan pada zat cair bekerja dengan cara menyebar ke segala arah, berbeda dengan tekanan yang terjadi pada zat padat, dimana tekanan hanya akan bekerja ke arah bawah selama tidak ada gaya dari luar. Besarnya tekanan di dalam zat cair tergantung pada fungsi dari kedalaman, semakin dalam letak suatu zat cair maka tekanan yang timbul akan semakin besar. Terjadinya aliran dikarenakan adanya perbedaan tekanan pada bagian yang berbeda di dalam fluida. Secara matematis tekanan dapat didefinisikan sebagai gaya dibagi dengan satuan luas penampang.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.4)$$

Persamaan 2.4 menjelaskan bahwa apabila gaya F bekerja secara tegak lurus dan merata pada suatu permukaan A , maka tekanan P akan berbanding lurus dengan gaya F dan berbanding terbalik dengan luas permukaan A .

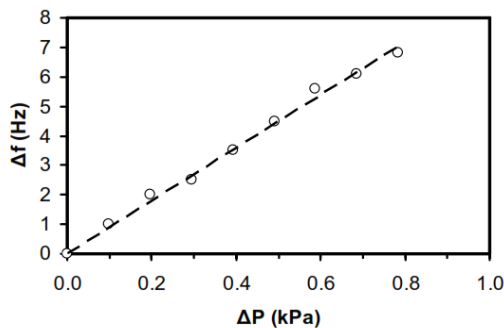
Tekanan akibat gaya gravitasi dalam suatu zat cair yang tidak bergerak adalah tekanan hidrostatik. Tekanan hidrostatik terjadi pada setiap bidang; hal ini pula yang menyebabkan zat cair dapat bergerak mengalir, karena terjadinya tekanan hidrostatik tidak selalu pada bidang datar. Besarnya tekanan hidrostatik pada suatu bidang datar dalam suatu zat cair adalah sama.

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (2.5)$$

Dimana P merupakan tekanan hidrostatik (Pa atau N/m^2), ρ merupakan massa jenis zat cair (kg/m^3), g merupakan percepatan gravitasi (m/s^2), dan h merupakan fungsi dari ketinggian atau kedalaman zat (m).

2.9 Efek Tekanan Hidrostatik Pada Sensor QCM

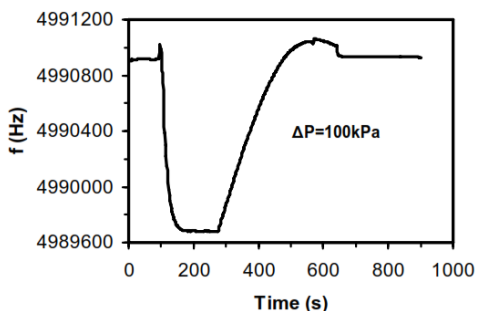
Sensor QCM merupakan sensor ultra sensitif terhadap berbagai sumber getaran ataupun tekanan. Salah satunya yaitu efek dari tekanan hidrostatik yang terjadi pada sensor QCM. Menurut Joao Miguel dalam penelitiannya tentang respon QCM terhadap tekanan hidrostatik menuturkan bahwa variasi respon frekuensi QCM berbanding lurus dengan perubahan tekanan. Hal tersebut didapatkan setelah melakukan pengujian respon tekanan pada QCM dengan dua perlakuan. Pengujian pertama sensor QCM diletakkan di dalam *cell* tertutup dengan tabung dan pompa mikro untuk mengalirkan sample air, untuk menghitung besarnya tekanan, jarak antara tabung dan QCM telah ditentukan (Encarnação, 2007).



Gambar 2.18 Respon dari QCM terhadap tekanan hidrostatik dengan variasi jarak ketinggian dari pipa di dalam satu sistem tertutup (Encarnação, 2007).

Percobaan kedua yaitu dengan mengamati respon frekuensi QCM dari tekanan udara terbuka. QCM ditempatkan di dalam suatu wadah yang terhubung langsung dengan pompa turbo molekuler. Pompa berfungsi untuk mengalirkan udara kedalam wadah yang berisi QCM. Frekuensi respon dari QCM telah diamati selama proses pemberian tekanan dalam skala 100 kPa. Gambar 2.19 menunjukkan hasil bahwa respon perubahan frekuensi dari QCM berada dalam orde 1100 ± 100 Hz untuk perubahan tekanan 100 kPa (Encarnação, 2007).

Respon perubahan frekuensi QCM dari percobaan Joao Miguel terhadap perubahan tekanan udara terbuka ditunjukkan dalam gambar dibawah:



Gambar 2.19 Respon QCM terhadap tekanan udara terbuka. QCM diletakkan di dalam wadah yang terhubung langsung dengan pompa (Encarnação, 2007).

Gambar 2.19 merupakan respon frekuensi dari QCM, ketika pompa penginjeksian pertama dilakukan mengakibatkan penurunan frekuensi resonansi, dan kemudian membiarkannya mengalir sehingga menyebabkan resonansi frekuensi meningkat naik sehingga mencapai frekuensi stabil (Encarnação, 2007). Dari kedua percobaan yang berbeda menunjukan bahwa variasi resonansi frekuensi dari QCM sebanding dengan perubahan tekanan yang diberikan.

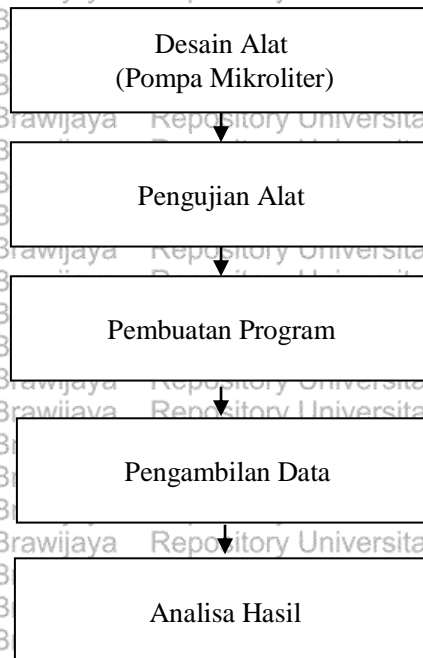
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari sampai dengan bulan Juli 2015 di Laboratorium Instrumentasi dan Pengukuran Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya Malang.

3.2 Tahap Alur Penelitian

Ada beberapa tahap penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini, seperti ditunjukkan dalam blok diagram dibawah ini:



Gambar 3.1 Blok Diagram Alur Penelitian

Gambar 3.1 menjelaskan blok diagram alur dari tahap pembuatan sistem pompa mikroliter, tahapan - tahapan terdiri dari:

1. Pembuatan Desain Penelitian
Dalam penelitian tentang desain sistem injeksi cairan berpenggerak motor *stepper* ini dimulai dengan rancangan penelitian (desain dan konsep alat) dalam bentuk *flowchart*.
2. Perakitan Sistem
Perakitan sistem dibuat dengan terlebih dahulu menyusun konsep desain sistem dalam blok diagram. Sistem dari desain pompa mikroliter ini terdiri dari beberapa komponen dan *device* pendukung, diantaranya yaitu rangkaian kendali mikrokontroler berupa *minimum system PIC18F4550*, rangkaian sistem *keypad*, rangkaian sistem LCD, rangkaian motor *driver*, dan desain sistem mekanik pompa mikroliter.
3. Pembuatan Program
Pembuatan program untuk beberapa *device* atau komponen seperti *interfacing LCD*, *interfacing keypad*, dan program kontrol kecepatan motor *stepper* untuk mengatur injeksi pompa.
4. Pengujian Sistem
Sebelum pengujian sistem injeksi cairan secara keseluruhan, dilakukan pengujian komponen subsistem secara individu, mulai dari pengujian *device* LCD, *keypad*, motor *stepper* dan sistem mekanik pompa.
5. Pengambilan Data
Tahap pengambilan data dilakukan dengan mengamati respon frekuensi dari sensor QCM terhadap proses injeksi *sample*. Data yang diambil berupa pengaruh proses injeksi dan tarikan / *remove* cairan *sample* dengan variasi kecepatan dan volume dari pompa mikroliter.
6. Analisa Hasil
Tahap terakhir yaitu analisa hasil, pada tahap ini dilakukan analisa hubungan antara respon frekuensi yang dihasilkan dari sensor QCM dengan parameter volume dan kecepatan dari proses *injection* dan *remove* dari pompa mikroliter.

3.3 Rancangan Sistem Injeksi Cairan

Rancangan dari sistem injeksi cairan ditunjukkan dalam gambar 3.2. Secara keseluruhan desain sistem injeksi cairan ini terdiri dari tiga sub sistem. Sub sistem pertama yaitu sub sistem pengontrol. Sub sistem pengontrol terdiri dari *keypad* dan mikrokontroler, dimana *user* akan memberi nilai masukan berupa volume pada *device keypad* yang selanjutnya akan dikontrol dan diproses di dalam. Sub sistem kedua yaitu sub sistem elektronika, sub sistem elektronika terdiri dari komponen sistem minimum mikrokontroler dan motor *driver*. Komponen di dalam sub sistem elektronika ini saling terintegrasi, fungsi utama dari sub sistem elektronika ini yaitu sebagai penunjang komponen di dalam sistem injeksi cairan. Sub sistem ketiga merupakan sub sistem pompa mikroliter, sub sistem pompa mikroliter terdiri dari komponen utama motor *stepper*, pompa *syringe* dan tabung PTFE. Sub sistem penggerak berperan sebagai aktuator yang mekanisme kerjanya sebagai penggerak pompa *syringe*, sehingga pompa *syringe* akan bergerak sesuai dengan arah putaran dari motor *stepper*. Keluaran dari sistem injeksi pompa mikroliter berupa hasil injeksi *sample* pada permukaan QCM.

Secara keseluruhan, sistem pompa mikroliter ini bekerja berdasarkan masukan variabel dari *keypad*. Variabel masukan dari *keypad* berupa jumlah volume dari *sample* yang akan di injeksikan oleh pompa mikroliter. Rangkaian kontrol *keypad* terintegrasi dengan rangkaian sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550. Sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550 akan mengatur dan mengontrol proses secara keseluruhan.

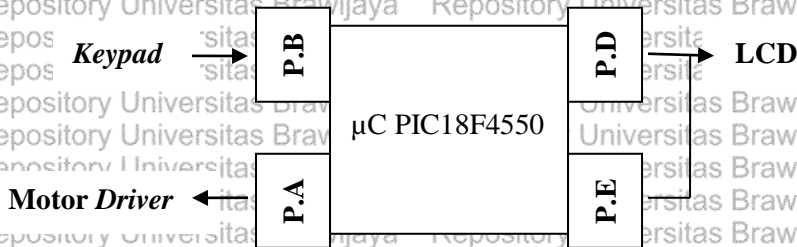
Masukan dari *keypad* berupa *signal* yang kemudian dikonversi oleh mikrokontroler menjadi sebuah data informasi untuk menjalankan *device* sub sistem yang lain. LCD berfungsi sebagai penampil informasi dari tombol-tombol yang ada pada *keypad* dan juga sebagai piranti keluaran untuk menampilkan variabel volume.

Motor *driver* berfungsi untuk mengontrol gerak motor dan sebagai *interface* antara mikrokontroler PIC18F4550 dengan motor *stepper*. Motor *stepper* dapat bergerak searah jarum jam ataupun berlawanan jarum jam. Hal tersebut bergantung pada kontrol dan perintah yang dikirim oleh mikrokontroler. Pada penelitian ini digunakan *keypad* 4x4 dan juga LCD 16x4 sebagai piranti penampil. Sedangkan IC motor driver menggunakan IC L298 dan penggerak utama yaitu motor *stepper* 28BYJ-48 5 Volt. Sebagai pusat pengendali dan pengontrol, di dalam penelitian ini digunakan mikrokontroler PIC18F4550 yang terintegrasi dengan beberapa sub sistem pendukung.

Sistem mekanik penggerak didesain dengan menggunakan bahan dasar logam *stainless* dan dikombinasi dengan penyangga dari bahan teflon. Sedangkan penggerak utama yaitu menggunakan motor *stepper* 28BYJ-48. Sebagai injektor cairan digunakan komponen pompa *syringe* yang memiliki volume daya tampung 1 mL. Tuas mekanik penghubung motor stepper dan pompa *syringe* berupa tuas mekanik berulir yang terhubung dengan penyangga pompa *syringe*. Penyangga akan bergerak maju ataupun mundur seiring dengan putaran motor *stepper* yang memutar tuas mekanik berulir. Sehingga pompa *syringe* akan ikut bergerak maju atau mundur. Untuk menginjeksikan sejumlah volume *sample* maka pompa *syringe* dilengkapi dengan pipa atau tabung fleksible PTFE berdiameter kecil. Tabung fleksible PTFE terhubung langsung dengan konstruksi sel, dimana di dalam konstruksi sel ini merupakan tempat diletakkannya sensor QCM. *Sample* diinjeksikan di atas permukaan QCM yang berada di dalam konstruksi sel melalui tabung fleksibel PTFE.

3.3.1 Rancangan subsistem elektronik

Pada penelitian ini, dirancang sebuah sistem elektronik yang terintegrasi antara sub sistem satu dengan yang lainnya. Unit pengontrol sistem berupa mikrokontroler PIC18F4550. Sistem minimum mikrokontroler didesain dengan pembagian beberapa *port* keluran dan masukan sesuai dengan kebutuhan sub sistem pendukung yang lain.



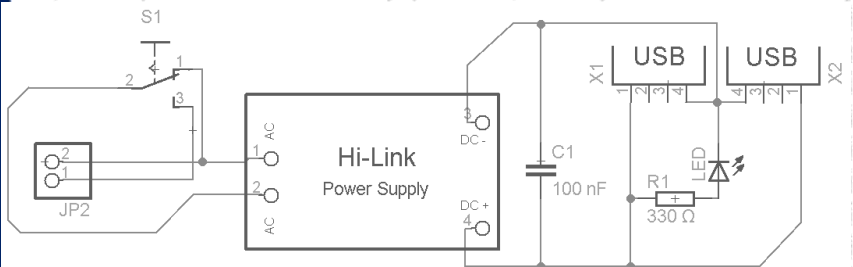
Gambar 3.3 Skematik diagram rangkaian elektronik yang terintegrasi dengan mikrokontroler PIC18F4550

Mikrokontroler PIC18F4550 tersusun dari lima *port*, dimana setiap *port* terdiri dari 3 – 8 buah *pinout*. Pada desain pembuatan alat pompa mikroliter ini *port* mikrokontroler yang digunakan adalah 4 buah *port* yaitu *port* A, *port* B, *port* D, dan *port* E. *Port* – *port* tersebut digunakan sebagai *interface* dengan sub sistem pendukung, seperti ditunjukkan dalam gambar 3.3. Rangkaian sub sistem *keypad* dihubungkan dengan dengan mikrokontroler PIC18F4550 melalui *port* B. Sub sistem LCD dihubungkan melalui dua *port* yaitu *port* B dan *port* E. Sumber tegangan dan arus untuk sistem kontrol ini berasal dari *power supply* eksternal. *power supply* eksternal ini didesain menjadi dua jenis. *Power supply* pertama yaitu berdaya 5 Volt 500mA dirancang untuk catu daya mikrokontroler PIC18F4550. Sedangkan *power supply* berdaya 5V dengan arus maksimal 2A yang dibuat khusus untuk keperluan catu daya motor *driver* yang memerlukan daya lebih besar. Sebuah motor *driver* diperlukan karena daya untuk memutar atau mengendalikan motor *stepper* tidak bisa langsung bersumber dari mikrokontroler. Daya yang dikeluarkan oleh mikrokontroler tidak cukup untuk mengendalikan motor *stepper*. Oleh karena itu dibuat desain motor *driver* yang terintegrasi dengan mikrokontroler melalui *port* A.

Gambar 3.4 merupakan skematik rangkaian sistem minimum mikrokontroler yang dirancang untuk sistem injeksi cairan. Pada perancangan sistem minimum ini digunakan beberapa komponen pendukung, diantaranya yaitu osilator eksternal, beberapa resistor, kapasitor, *switch push button* dan *female USB* tipe B untuk *interface* suplai daya pada mikrokontroler. Untuk menjalankan program di dalam mikrokontroler maka perlu suatu *device* yang dapat menanamkan program di mikrokontroler. *Device* tersebut yaitu programmer PICKIT™ 3. Pin-pin programmer disediakan dan tergabung dalam port B. Osilator eksternal yang digunakan yaitu jenis TCXO osilator dengan clock frekuensi sebesar 20.000 MHz. Osilator tersebut berfungsi untuk membangkitkan sinyal *clock* dan menyelaraskan *clock* dari mikrokontroler. Sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550 memerlukan tegangan masukan sebesar 5V dengan arus 300 mA, maka di buatlah catu daya yang dapat memberikan suplai daya untuk mikrokontroler.

3.3.1.2 Rangkaian catu daya

Catu daya yang digunakan dalam desain pompa mikroliter ini dibagi menjadi dua jenis. catu daya pertama untuk keperluan daya mikrokontroler, dan catu daya kedua untuk mensuplai daya pada motor *driver*. Catu daya untuk mikrokontroler PIC18F4550 disuplai dari IC power *supply* tipe Hi-Link. IC tersebut berfungsi sebagai penyuplai daya utama pada mikrokontroler dengan spesifikasi input 100-240 Volt AC dan output 5Volt DC dengan maksimum arus keluaran sebesar 600 mA. Rangkaian catu daya untuk sistem minimum mikrokontroler yaitu seperti ditunjukkan pada gambar 3.5.

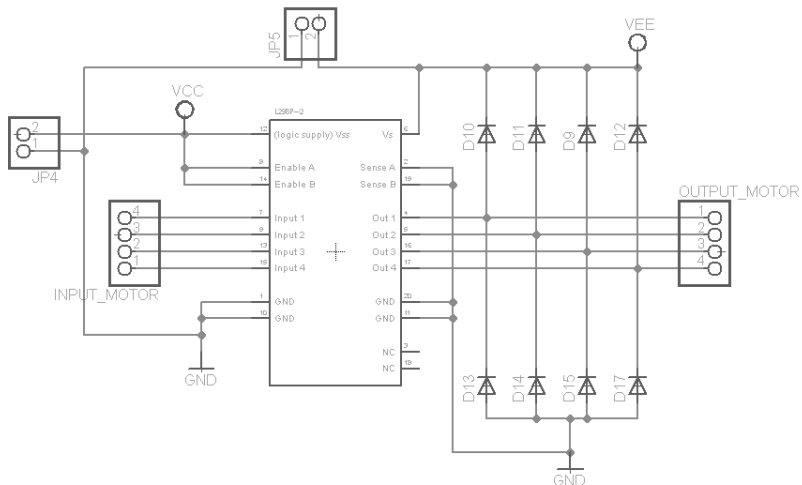


Gambar 3.5 Skematik rangkaian catu daya untuk sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550

Gambar 3.5 merupakan skematik rangkaian catu daya yang dirancang untuk kebutuhan daya sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550. Selain IC *Hi-link* terdapat pula komponen – komponen pendukung untuk rangkaian catu daya. Diantaranya yaitu *switch* yang berfungsi sebagai saklar *power on-off*, USB *tipe B* yang digunakan sebagai *interface* keluaran dan sebuah led sebagai indikator *power* pada rangkaian catu daya. Rangkaian catu daya kedua dirancang untuk mensuplai daya pada motor *stepper* melalui rangkaian motor *driver*. Rangkaian catu daya kedua ini sudah menjadi satu sistem *power supply* eksternal, dengan karakteristik tegangan keluaran sebesar 5V dan arus keluaran maksimal sebesar 2A.

3.3.1.3 Rangkaian motor driver

Pada penelitian ini dirancang sebuah rangkaian motor *driver* dengan IC utama L298 motor *driver*. IC L298 memiliki karakteristik untuk mengendalikan motor dengan maksimum tegangan sebesar 40 Volt dan arus sebesar 4 Ampere (STMicroelectronics, 2000). Untuk mengendalikan motor *stepper* maka diperlukan komponen pendukung IC L298, diantaranya yaitu komponen dioda yang berfungsi sebagai penyearah arus, sehingga meminimalisir kemungkinan terjadinya kerusakan akibat arus yang berbalik dari motor *stepper* menuju IC L298. Rangkaian motor driver ditunjukkan pada gambar 3.6.



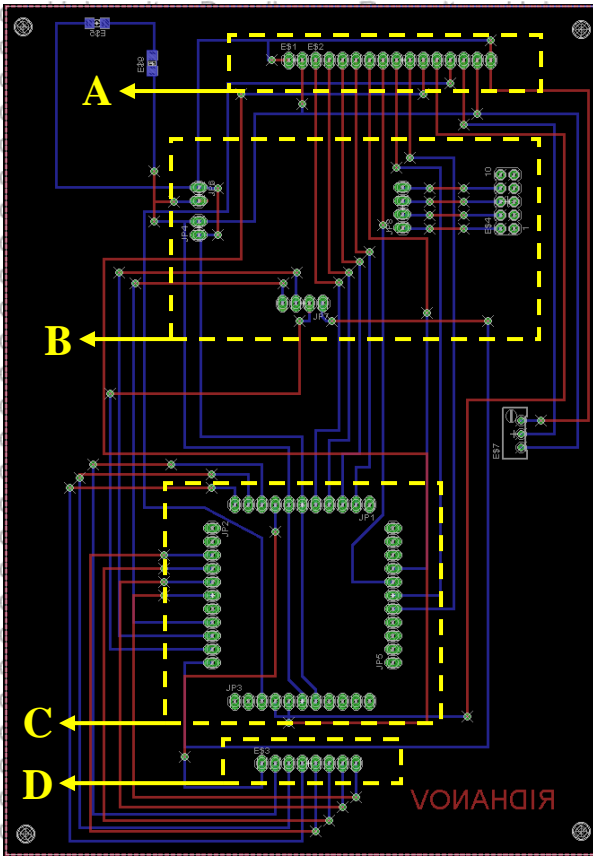
Gambar 3.6 Skematik rangkaian motor driver dengan IC L298

Motor *stepper* 28BYJ-48 tidak bisa dikendalikan langsung oleh mikrokontroler PIC18F4550, karena daya yang dikeluarkan oleh mikrokontroler PIC18F4550 tidak cukup untuk menggerakkan motor *stepper* 28BYJ-48. Dengan karakteristik motor *driver* L298 yang sesuai maka motor *driver* L298 cocok digunakan untuk *mendrive* motor *stepper* 28BYJ-48. Dalam hal ini mikrokontroler bertugas untuk mengeluarkan kombinasi kode logika kedalam komponen Motor *driver* L298. Selanjutnya motor *driver* akan mengirimkan kode + kode tersebut ke motor *stepper*. Kombinasi kode logika yang akan menentukan gerakan motor *steppers* apakah bergerak searah jarum jam atau berlawanan jarum jam.

3.3.1.4 Rangkaian board penggabung

Rangkaian *board* penggabung ini merupakan suatu rangkaian yang berfungsi untuk menggabungkan rangkaian + rangkaian elektronika agar terintegrasi menjadi satu sistem *board*. Di dalam rangkaian *board* penggabung ini terdiri dari rangkaian sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550, rangkaian *keypad*, rangkaian LCD dan rangkaian untuk motor *driver*. Komponen lainnya yang ada di dalam *board* ini yaitu led sebagai indikator dan komponen *multitune* yang berfungsi sebagai pengatur kecerahan LCD. *Board* penggabung ini tersusun dari dua *layer* desain. Pada rancangan *board* penggabung ini, rangkaian sistem minimum PIC18F4550 dan rangkaian motor *driver* diletakkan di *layer* bawah, sedangkan rangkaian *interface keypad* dan LCD diletakkan di *layer* atas.

Pada rangkaian *board* penggabung ini juga *track* dari *port - port* sistem minimum mikrokontroler dipilih untuk dijadikan satu sistem rangkaian yang terintegrasi. Rancangan pembuatan *board* penggabung juga ditujukan untuk mempermudah dalam hal pengecekan rangkaian elektronik sehingga apabila terdapat suatu kesalahan terutama dalam rangkaian elektronik, pengecekan sistem hanya cukup memilah satu - persatu komponen rangkaian yang terpasang pada *board* penggabung dengan cara mencopotnya. Dimensi dari rangkaian *board* penggabung ini yaitu memiliki panjang 16 cm dan lebar 11 cm. Dalam perancangan akhir, *board* penggabung ini dibuatkan *case* dari material akrilik sebagai proteksi dari rangkaian sistem elektronik. Desain rangkaian *board* penggabung ini ditunjukkan dalam gambar 3.7.



Keterangan:

- A. Connector rangkaian LCD.
- B. Connector rangkaian motor driver.
- C. Connector rangkaian sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550.
- D. Connector rangkaian keypad.

Gambar 3.7 Skematik sistem rangkaian board penggabung

3.3.2 Rancangan program mikrokontroler

Perancangan dan pembuatan program untuk sistem injeksi cairan ini dilakukan beberapa tahap. Pembuatan program terdiri dari program untuk keypad, LCD dan program pengontrol motor. Secara keseluruhan, perancangan dan pembuatan program dilakukan dengan software builder MPLAB X IDE dengan bahasa pemrograman C. Software builder MPLAB X IDE merupakan salah satu software dari perusahaan Microchip yang *compatibe* dengan mikrokontroler PIC18F4550. Untuk proses *generate* program MPLAB X IDE, maka diperlukan *compiler*. Pada perancangan dan pembuatan program ini digunakan *compiler* XC.8.

3.3.2.1 Program *input keypad*

Program *input keypad* dirancang sesuai dengan konfigurasi letak angka / huruf yang di sajikan dalam bentuk matriks. Sebelum pembuatan program untuk *keypad*, dilakukan terlebih dahulu pengecekan terhadap konfigurasi *input / output* pada *keypad* 4x4. Pengecekan *input / output* pada *keypad* dilakukan dengan cek manual menggunakan multimeter pada setiap pin keluaran dari *keypad*. Hasil pengecekan menunjukkan konfigurasi *input / output* dari setingan setiap tombol pada *keypad* 4x4.

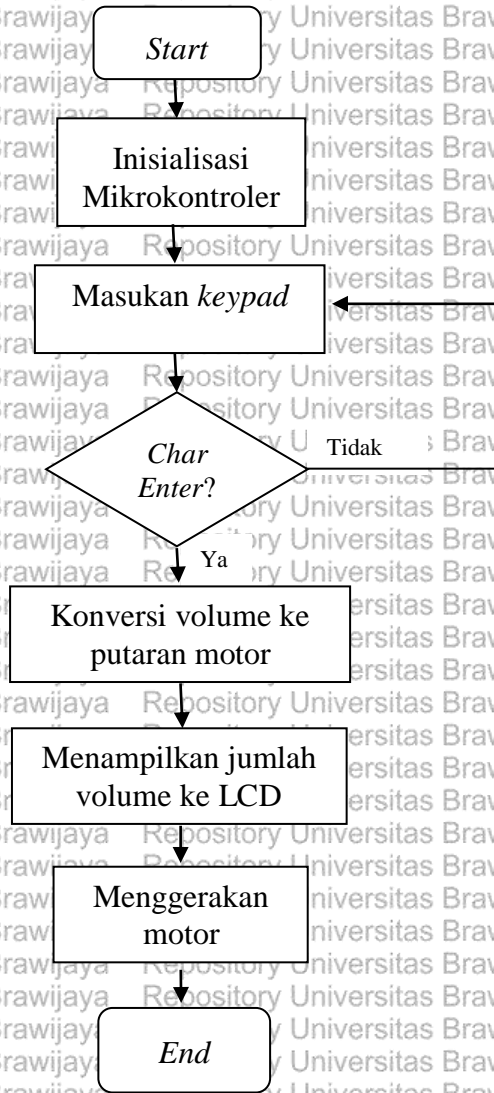
1	2	3	A
4	5	6	B
7	8	9	C
*	0	#	D

Gambar 3.8 Konfigurasi posisi tombol pada *keypad* 4x4

Tbel 3. 1 Konfigurasi *input / output* pada *keypad* 4x4

Tombol	Konfigurasi <i>input / output</i>
0	1110 1011
1	0111 0111
2	0111 1011
3	0101 11101
4	1011 0111
5	1011 1011
6	1011 1101
7	1101 0111
8	1101 1011
9	1101 1101
A	0111 1110
B	1011 1110
C	1101 1110
D	1110 1110
*	1110 0111
#	1101 1101

Tabel 3.1 menjelaskan tentang konfigurasi input / output pada keypad 4x4 yang didapatkan dari hasil pengecekan. Program putaran motor *stepper* dirancang sebagai berikut:



Gambar 3.9 Flowchart program putaran motor *stepper*

Pada pembuatan program *keypad* diperlukan proses *scanning* dimana konfigurasi dari *keypad* dibagi menjadi bagian kolom dan baris, hal ini untuk mempermudah dalam hal *scanning* tombol. Pengaturan register di dalam mikrokontroler yang digunakan untuk *interface keypad* diatur sebagai *input* dan *output*. Bagian baris didefinisikan sebagai *output* atau diberi logika 0, sedangkan bagian kolom didefinisikan sebagai *input* atau diberi logika tinggi 1.

3.3.2.2 Program putaran motor *stepper*

Pada perancangan dan pembuatan program untuk motor *stepper* ini dibuat menjadi dua kondisi. Kondisi pertama yaitu dibuat untuk fungsi putaran motor kondisi *speed* normal, dan yang kedua putaran motor dengan kondisi *speed* pelan. Perbedaan dari kedua kondisi tersebut yaitu hanya pada program *delay* nya saja. Semakin besar nilai *delay* pada program maka akan semakin lambat pergerakan putaran *step* pada motor *stepper*. Program motor *stepper* dirancang dengan konfigurasi putaran *half-step*. Hal ini bertujuan untuk memaksimalkan putaran *step* pada motor *stepper*. Program putaran motor *stepper* dibuat dua arah yaitu searah jarum jam dan berlawanan jarum jam. Program putaran motor searah jarum jam berfungsi untuk memberikan dorongan terhadap *syringe pump* sehingga dapat menginjeksikan sejumlah *sample*. Sedangkan program putaran motor berlawanan jarum jam, berfungsi untuk memberikan tarikan pada *syringe pump*, sehingga *sample* aka ditarik / tersedot seiring dengan adanya tarikan pada *syringe pump*. Program putaran motor *stepper* dirancang sebagai berikut:

```
// Unipolar Motor
void maju(){
  for (n=0;n<A;n++){
    PORTA = 0b00001001; //1
    ms_delay (5);
    PORTA = 0b00000001; //2
    ms_delay (5);
    PORTA = 0b00000011; //3
    ms_delay (4);
    PORTA = 0b00000010; //4
    ms_delay (4);
    PORTA = 0b00000110; //5
    ms_delay (4);
    PORTA = 0b00000100; //6
    ms_delay (3);
    PORTA = 0b00001100; //7
    ms_delay (3);
    PORTA = 0b00001000; //8
    ms_delay (2);
    PORTA = 0b00001001;
    ms_delay (2);
  }
}

void mundur(){
  for (n=0;n<A;n++){
    PORTA = 0b00001001;
```



```
ms_delay (5);  
PORTA = 0b00001000; // 8  
ms_delay (5);  
PORTA = 0b00001100; // 7  
ms_delay (4);  
PORTA = 0b00000100; // 6  
ms_delay (4);  
PORTA = 0b00000110; // 5  
ms_delay (4);
```

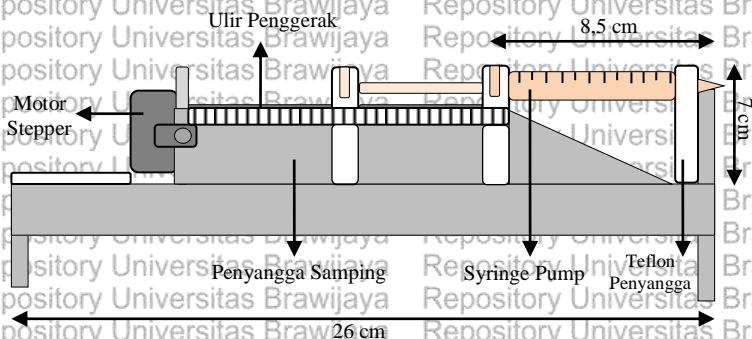
```
PORTA = 0b00000010; // 4  
ms_delay (3);  
PORTA = 0b00000011; // 3  
ms_delay (3);  
PORTA = 0b00000001; // 2  
ms_delay (2);  
PORTA = 0b00001001; // 1  
ms_delay (2);}
```

3.3.3 Rancangan dan pembuatan subsistem pompa mikroliter

Pembuatan sistem pompa mikroliter dibagi menjadi dua tahap, diantaranya yaitu perancangan pembuatan sistem mekanik *syringe pump* yang terintegrasi motor *stepper*, dan perancangan konstruksi sel sebagai tempat sensor QCM.

3.3.3.1. Rancangan sistem mekanik *syringe pump*

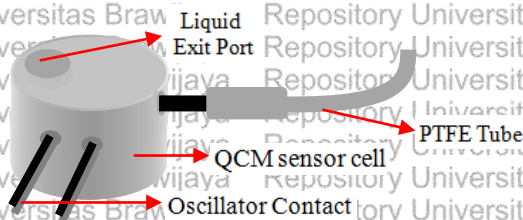
Sistem mekanik *syringe pump* terdiri dari komponen utama yaitu komponen motor *stepper* dan pompa *syringe*. Tujuan perancangan sistem mekanik ini yaitu agar didapatkan fungsi hubungan antara motor *stepper* dan pompa *syringe*. Setiap putaran *step* dari motor *stepper* akan dikonversi menjadi suatu gaya dorongan ataupun tarikan pada pompa *syringe*. Sebuah ulir penggerak digunakan sebagai pengubah gerak putaran motor menjadi gaya dorong atau tarikan pada pompa *syringe*. Dimana pompa *syringe* akan mengalirkan sejumlah *sample* seiring dengan gaya dorongan ataupun tarikan terhadap pompa *syringe*. Bahan material untuk sistem mekanik ini terdiri dari dua macam. Sitem penyangga utama dan ulir penggerak terbuat dari material *stainless steel* sedangkan penyangga pompa *syringe* terbuat dari material teflon. Hal ini untuk meminimalisir gaya gesek antara dinding penyangga samping dengan penyangga pompa, sehingga gerak dorongan ataupun tarikan pompa *syringe* menjadi lebih ringan. Penyangga pompa dirancang agar memungkinkan penggantian fleksibel pada pompa *syringe*. Sehingga dapat dengan mudah untuk meletakkan atau mengganti pompa *syringe*. Perancangan sistem mekanik ditunjukkan dalam gambar 3.9.



Gambar 3.10 Rancangan sistem mekanik *syringe pump*

3.3.3.2. Rancangan dan pembuatan konstruksi sel

Di dalam penelitian ini, konstruksi sel berfungsi sebagai tempat diletakkannya sensor QCM yang akan dilakukan proses penginjeksian *sample* di atas permukaan sensor QCM nya. Di dalam konstruksi sel terdapat sepasang silikon *seal O Ring* yang berfungsi sebagai pembatas lingkup cairan *sample* yang akan diamat supaya tepat berada di atas permukaan sensor QCM. *Sample* yang akan diinjeksikan di atas permukaan sensosr QCM akan dialirkan melalui selang PTFE yang terhubung langsung dengan pompa *syringe*. Selang PTFE dirancang fleksibel supaya dapat dimasukkan atau dikeluarkan kedalam sebuah konstruksi sel. Rancangan dari konstruksi sel ditunjukkan dalam gambar 3.10.



Gambar 3.11 Rancangan konstruksi sel sensor QCM

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan menguji satu persatu subsistem mulai dari pengujian rangkaian subsistem elektronika kemudian dilanjutkan dengan pengujian subsistem mekanik. Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui fungsionalitas sistem yang telah dibuat.

4.1.1 Pengujian subsistem elektronik

4.1.1.1. Pengujian sistem minimum mikrokontroler

Pengujian rangkaian sistem minimum mikrokontroler dilakukan dengan dua tahap yaitu pengujian dengan indikator LED dan uji putar motor *stepper* dengan memanfaatkan *keypad* sebagai pengontrol masukan putaran motor. Tahap pertama yaitu pengujian dengan menggunakan indikator LED. Pada tahap ini setiap keluaran dari *pinout* mikrokontroler disambungkan dengan komponen LED dan sebuah resistor 330 Ω . Pengujian dilakukan mulai dengan memberikan program sederhana di dalam mikrokontroler. Program berisi kombinasi bilangan biner yang berfungsi untuk menyalakan indikator LED secara bergantian, kombinasi bilangan biner dikeluarkan pada setiap *port* mikrokontroler. Indikator LED akan menyala ketika diberikan logika tinggi atau 1 dan tidak menyala ketika diberikan logika rendah atau 0.

Tabel 4.1 Hasil uji sistem minimum dengan indikator LED

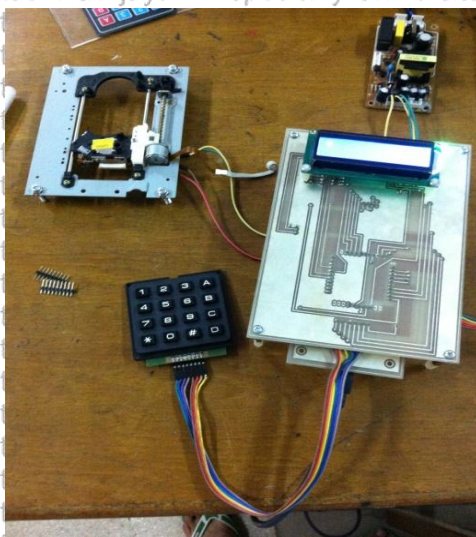
Port	Kombinasi Bil.Biner							Hasi Indikator LED
	0	1	0	1	0	1	0	
PA.0	√						OFF	
PA.1		√					ON	
PA.2			√				OFF	
PA.3				√			ON	
PA.4					√		OFF	
PA.5						√	ON	
PB.0	√						OFF	

Tabel 4.2 Hasil uji sistem minimum dengan indikator LED
(lanjutan)

Port	Kombinasi Bil.Biner								Hasi Indikator LED
	0	1	0	1	0	1	0	1	
PB.1	√								ON
PB.2		√							OFF
PB.3			√						ON
PB.4				√					OFF
PB.5					√				ON
PB.6						√			OFF
PB.7							√		ON
PC.0	√								OFF
PC.1		√							ON
PC.2			√						OFF
PC.6						√			OFF
PC.7							√		ON
PD.0	√								OFF
PD.1		√							ON
PD.2			√						OFF
PD.3				√					ON
PD.4					√				OFF
PD.5						√			ON
PD.6							√		OFF
PD.7								√	ON
PE.0	√								OFF
PE.1		√							ON
PE.2			√						OFF
PE.3				√					ON

Hasil dari pengujian sistem minimum mikrokontroler PIC18f4550 dengan menggunakan indikator LED sesuai dengan yang diharapkan, yaitu semua port dari mikrokontroler bisa digunakan kecuali untuk port PC3-5 tidak dilakukan pengetesan dengan menggunakan indikator LED, karena port tersebut memiliki fungsi *margor* dengan fungsi untuk port USB. Hasil dari pengujian menandakan bahwa sistem rangkaian dari mikrokontroler PIC18f4550 bisa difungsikan // digunakan. Pengujian kedua yaitu pengujian sistem mikrokontroler dengan komponen motor *stepper*.

Untuk memastikan sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550 berjalan dengan baik, maka dilakukan pengujian kedua dengan menggunakan motor *stepper*. Motor *stepper* yang digunakan untuk pengujian ini yaitu motor *stepper* jenis bipolar 4 fase dengan arah gerak *clock wise* dan *counter clock wise*. Motor *stepper* yang biasa digunakan dalam CD/DVD *room*. Pada pengujian ini digunakan komponen pendukung yaitu berupa *keypad* dan LCD.



Gambar 4.1 Proses pengujian rangkaian sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550 dengan motor *stepper*.

Pada tahap pengujian, masing – masing kumparan pada motor *stepper* diberikan kombinasi nilai biner dari mikrokontroler. Mikrokontroler akan mengeluarkan kombinasi nilai biner ke dalam motor *driver* yang akan *mendrive* motor *stepper* sehingga motor *stepper* akan berputar searah atau berlawanan arah jarum jam. *Interfacing keypad* disambungkan pada *port B* sedangkan *driver* motor dan motor *stepper* disambungkan dengan *port A*. Program sederhana telah dibuat untuk pengujian sistem minimum mikrokontroler yaitu berupa program *interfacing keypad* yang difungsikan untuk menggerakkan motor *stepper* maju dan mundur. Dua tombol dalam *keypad* dipilih untuk pengujian ini. Yaitu tombol A difungsikan untuk maju, dan tombol B difungsikan untuk mundur.

Program putaran motor *stepper* dibuat sederhana, motor *stepper* akan berputar maju (searah jarum jam) apabila ditekan tombol A, dan akan berputar mundur (berlawanan arah jarum jam) apabila ditekan tombol B pada *keypad*. Program utama untuk pengujian sistem minimum dengan motor *stepper* ditunjukkan seperti dibawah.

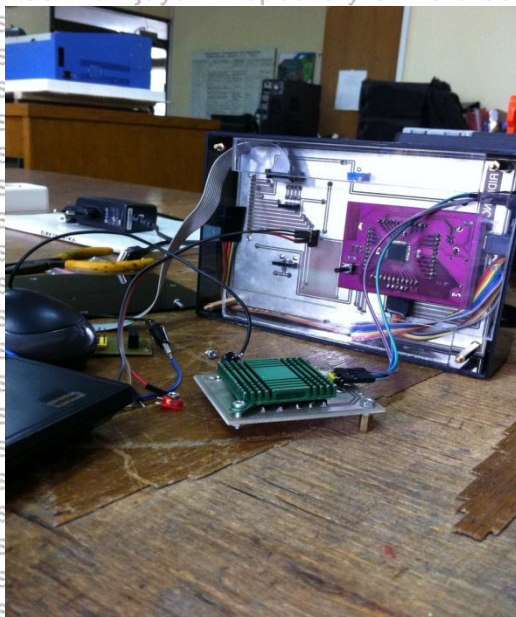
```
void keypad(){
  TRISB = 0b00001111;
  LATB7 = 1;
  LATB6 = 1;
  LATB5 = 1;
  LATB4 = 0;
  if (RB0 == 0){
    mundur();
  }
  else if (RB1 == 0){
    maju();
  }
}
```

Hasil dari pengujian kedua dengan menggunakan motor *stepper* adalah sesuai yang diinginkan. Ketika tombol A pada *keypad* ditekan maka motor berputar maju (searah jarum jam), begitupun sebaliknya, ketika tombol B pada *keypad* ditekan maka motor akan berputar mundur (berlawanan arah jarum jam). Pengujian kedua menunjukkan bahwa sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550 berjalan dengan baik, dan dapat diintegrasikan dengan komponen yang lainnya.

4.1.1.2. Pengujian motor *driver*

Pengujian motor *driver* ditujukan untuk mengetahui fungsionalitas dari motor *driver* dan juga rangkaian motor *driver* yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan melihat respon keluaran dari motor *driver* yang dihubungkan dengan indikator LED, ketika diberikan *signal* masukan berupa logika *high* dan *low* dari mikrokontroler. Program untuk pengujian motor *driver* berupa kombinasi nilai biner yang merupakan *signal* masukan pada motor *driver*. Kombinasi nilai biner berupa fungsi maju dan mundur dari motor *stepper*. Selain pengujian dengan menggunakan indikator LED, pengujian rangkaian motor *driver* juga dilakukan dengan menggunakan multimeter, yang ditujukan untuk mengetahui nilai

tegangan masukan dari motor *driver* dan nilai keluaran dari motor *driver* yang terukur.



Gambar 4.2 Proses pengujian motor *driver* dengan indikator LED

Hasil dari pengujian motor *driver* dengan menggunakan indikator LED ditunjukkan di dalam tabel 4.3 dan table 4.4.

Tabel 4.3 Hasil uji keluaran motor *driver* dengan indikator LED

Arah Putaran Motor	Kombinasi Bil.Biner			Indikator LED				
	1	2	3	1	2	3	4	
Maju	1	0	0	1	ON	OFF	OFF	ON
	1	0	0	0	ON	OFF	OFF	OFF
	1	1	0	0	ON	ON	OFF	OFF
	0	1	0	0	OFF	ON	OFF	OFF
	0	1	1	0	OFF	ON	ON	OFF
	0	0	1	0	OFF	OFF	ON	OFF
	0	0	1	1	OFF	OFF	ON	ON
	0	0	0	1	OFF	OFF	OFF	ON

Tabel 4.4 Hasil uji keluaran motor *driver* dengan indikator LED (lanjutan)

Arah Putaran Motor	Kombinasi Bil.Biner				Indikator LED			
	1	0	0	1	1	2	3	4
Mundur	1	0	0	1	ON	OFF	OFF	ON
	0	0	0	1	OFF	OFF	OFF	ON
	0	0	1	1	OFF	OFF	ON	ON
	0	0	1	0	OFF	OFF	ON	OFF
	0	1	1	0	OFF	ON	ON	OFF
	0	1	0	0	OFF	ON	OFF	OFF
	1	1	0	0	ON	ON	OFF	OFF
	1	0	0	0	ON	OFF	OFF	OFF

Hasil dari pengujian motor *driver* dengan menggunakan indikator LED menunjukkan bahwa fungsionalitas dari motor *driver* dan sistem rangkaiannya berjalan dengan baik. Untuk mengetahui nilai tegangan masukan dan keluaran dari motor *driver* maka dilakukan pengujian dengan menggunakan multimeter. Hasil dari pengujian dengan menggunakan multimeter ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil uji nilai keluaran motor *driver* menggunakan multimeter

Output Bil.Biner (Mikrokontroler)	Motor <i>driver</i>	
	Vin (Volt)	Vout (Volt)
1	5	4.98
0	0	0
1	5	4.98
0	0	0
1	5	4.97
0	0	0
1	5	4.98
0	0	0

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa nilai *input* tegangan dan *output* tegangan dari motor *driver* memiliki selisih nilai yang tidak jauh berbeda. Ini menunjukkan bahwa motor *driver* dapat bekerja dengan baik. Sehingga motor *driver* ini cocok digunakan untuk mengendalikan motor *stepper*.

4.1.1.3. Pengujian keypad

Pengujian keypad dilakukan untuk mengetahui fungsionalitas dari keypad dan juga untuk mengetahui konfigurasi dari keypad sehingga dapat dijadikan sebagai piranti masukan untuk mikrokontroler. Keypad yang digunakan yaitu keypad 4x4 dengan 8 pin. Untuk mempermudah proses scanning, 8 pin keypad dibagi menjadi 4 pin yang difungsikan sebagai kolom dan 4 pin difungsikan sebagai baris. Pengujian dilakukan dengan pengecekan masing – masing tombol pada keypad dengan menggunakan multimeter, untuk mengetahui konfigurasi dari masing – masing tombol.



Gambar 4.3 Pengujian keypad dengan menggunakan multimeter

Setelah pengujian keypad dengan menggunakan multimeter, maka didapatkan konfigurasi pin pada keypad yang difungsikan sebagai input dan output. Konfigurasi input dan output tersebut dijadikan sebagai fungsi utama pengaturan keypad pada mikrokontroler. Hasil konfigurasi Input dan output dari masing – masing tombol pada keypad ditunjukkan dalam tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil pengujian konfigurasi *input / output* pada *keypad*

Tombol	Konfigurasi <i>input / output</i>
0	1110 1011
1	0111 0111
2	0111 1011
3	0111 1101
4	1011 0111
5	1011 1011
6	1011 1101
7	1101 0111
8	1101 1011
9	1101 1101
A	0111 1110
B	1011 1110
C	1101 1110
D	1110 1110
*	1110 0111
#	1110 1101

4.1.1.4. Pengujian LCD

LCD digunakan sebagai piranti keluaran atau *display*. Untuk memastikan fungsionalitas dari LCD agar dapat digunakan dalam sistem injeksi cairan ini maka dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian dilakukan dengan memberikan program penampil sederhana, yang berisikan teks karakter untuk ditampilkan di LCD. Di dalam pengaturan sistem mikrokontroler, komunikasi LCD diatur dalam *port D* dan *port E*. Program sederhana berisi teks “CRG ASMAT” ditampilkan pada baris 2 di dalam LCD 16x4. Beberapa pengaturan yang digunakan dalam program LCD ini yaitu pengaturan baris tampilan dan juga pengaturan efek transisi dari karakter teks. Program utama yang digunakan untuk pengujian LCD yaitu:

```
#include <p18f4550.h>
#include <stdio.h>
```

```
#include "konfigurasi_bit.h"
#define rs LATEO
```

```

#define rw LATE1
#define en LATE2
#define lcd_port LATD

void lcd_perintah(unsigned char
perintah)
{ lcd_port = perintah;
rs = 0;
rw = 0;
en = 1;
ms_delay(20);
en = 0; }

void lcd_data(unsigned char
data)
{ lcd_port = data;
rs = 1;
while(1)
{ lcd_perintah(0xc0);
lcd_tampil("CRG ASMAT...");
}
}

```

Berdasarkan program di atas, maka hasil dari pengujian LCD untuk menampilkan teks karakter yaitu seperti ditunjukkan dalam gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil Pengujian LCD

Berdasarkan hasil pengujian LCD 16x4, maka fungsionalitas LCD berjalan dengan baik dan dapat digunakan.

4.1.2 Pengujian sistem mekanik

Pengujian sistem mekanik terdiri dari dua tahap pengujian. Diantaranya yaitu pengujian sistem penggerak dan pengujian konstruksi sel. Secara umum sistem penggerak terbuat dari material *stainless steel*, dan ada beberapa penyangga yang berbahan dasar teflon. Sistem penggerak mekanik terdiri dari motor *stepper*, *syringe pump* dan tabung PTFE. Sebuah pipa berulir digunakan sebagai transmisi motor *stepper* dan *syringe pump*. Tabung PTFE digunakan sebagai tempat mengalirnya cairan *sample*. Sedangkan konstruksi sel berbahan dasar akrilik. Modifikasi dari konstruksi sel telah dilakukan agar didapatkan konstruksi sel yang cocok untuk sistem pompa mikroliter.

4.1.2.1. Pengujian sistem penggerak

Sistem penggerak merupakan gabungan dari komponen motor *stepper* dan *syringe pump*. Untuk mengetahui fungsionalitas dari sistem penggerak, maka dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan memprogram mikrokontroler untuk menggerakkan motor *stepper*. Putaran motor *stepper* secara otomatis akan menggerakkan *syringe pump* melalui tuas transmisi. *Sample* air digunakan sebagai cairan *sample*, sebanyak 500 μL *sample* air dimasukkan kedalam *syringe pump*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan pergerakan dari putaran motor *stepper* gerakan *syringe pump* yang berisi *sample* air.

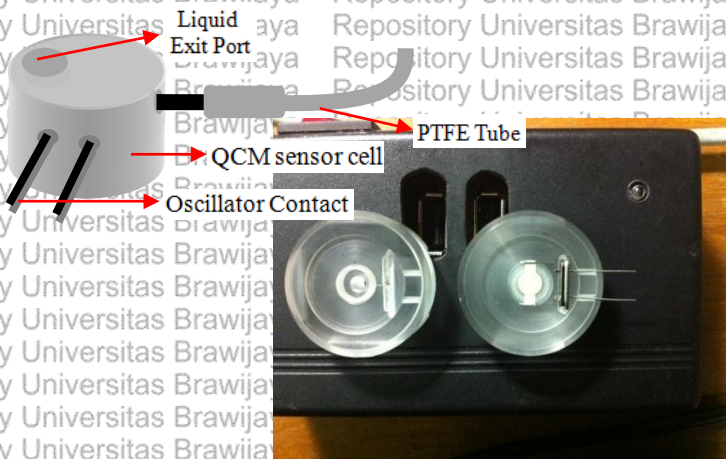


Gambar 4.5 Pengujian sistem penggerak motor *stepper* dan *syringe pump*

Gambar 4.5 merupakan sistem penggerak yang telah dilakukan pengujian. Setelah dilakukan pengujian sistem penggerak, motor *stepper* dan *syringe pump* dapat berputar dan bergerak sesuai dengan program yang diatur. Hasil tersebut menandakan bahwa fungsional dari sistem mekanik penggerak berjalan dengan baik dan dapat digunakan untuk sistem pompa mikroliter.

4.1.2.2. Pengujian konstruksi sel

Konstruksi sel dirancang dan disesuaikan dengan sistem penggerak yang terhubung langsung dengan tabung PTFE untuk proses aliran cairan *sample*. Pengujian konstruksi sel ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan pengaliran dan penampung cairan *sample*. Sehingga proses *sensing* cairan *sample* oleh sensor QCM akan berjalan dengan baik.



Gambar 4. 6 Pengujian konstruksi sel

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sistem mekanik penggerak yang sudah terpasang tabung PTFE dengan konstruksi sel. Sensor QCM ditempatkan di dalam konstruksi sel dan dilengkapi dengan *o-ring* yang berfungsi sebagai pembatas dan ruang lingkup cairan *sample* di atas permukaan sensor QCM. Setelah pengujian dilakukan, aliran *sample* air mengalir kedalam konstruksi sel dan mengisi penuh permukaan sensor QCM. Aliran *sample* air tidak keluar dari ruang lingkup permukaan sensor QCM, dalam

artian konstruksi sel tidak mengalami kebocoran, sehingga proses aliran *sample* air dapat mengalir dengan baik di dalam konstruksi sel. Dengan demikian konstruksi sel tersebut dapat digunakan untuk sistem injeksi cairan.

4.2 Konversi dan Kalibrasi Volume Cairan *Sample* terhadap Putaran Motor *stepper*

Konversi dan kalibrasi volume cairan *sample* terhadap putaran motor *stepper* merupakan bagian penting dalam sistem injeksi cairan ini. Jumlah iterasi atau putaran rotor pada motor *stepper* akan mempengaruhi jumlah volume *sample* yang diinjeksikan oleh *syringe pump* di dalam sistem pompa mikroliter. Di dalam proses kalibrasi dilakukan beberapa tahap. Tahap pertama yaitu konversi berdasarkan iterasi motor *stepper* terhadap volume *disposable syringe* yang digunakan, setelah itu dilakukan perbandingan dengan menggunakan takaran ukur *centrifuge tube* dan yang terakhir dilakukan perbandingan dengan volume hasil dari injeksi oleh mikropipet.

4.2.1. Konversi iterasi motor *stepper* terhadap volume *disposable syringe*

Iterasi motor *stepper* merupakan banyaknya jumlah putaran rotor yang berfungsi untuk menggerakkan transmisi motor *stepper* yang terhubung langsung dengan pompa *syringe*. Kalibrasi ini bertujuan untuk mengetahui besarnya perubahan volume injeksi cairan *sample* yang dihasilkan seiring dengan jumlah iterasi dari motor *stepper*. Pompa *syringe* yang digunakan memiliki volume 1ml. Dengan indikator angka yang tertera yaitu 80 garis. Untuk mempermudah dalam proses kalibrasi, maka setiap indikator garis dikonversi kedalam satuan mikroliter.

Indikator garis volume pompa	=	Jumlah volume pompa syringe
80 garis	=	1 mL
1 garis	=	0.0125 mL = 12.5 μ L

Untuk menggerakkan 1 garis indikator, diperlukan sebanyak 550 iterasi motor *stepper*.

Jumlah iterasi tersebut didapatkan dari percobaan menggerakkan motor *stepper* dengan metoda *trial – error*. Untuk mempermudah program pengontrolan motor *stepper* dalam menggerakkan pompa *syringe*, maka perlu diketahui besar perubahan volume cairan *sample* per μL setiap iterasi dari motor *stepper*. Perubahan volume cairan *sample* untuk setiap μL dapat diketahui sebagai berikut:

Tabel 4.7 Korelasi antara jumlah volume *sample* dengan iterasi motor *stepper*

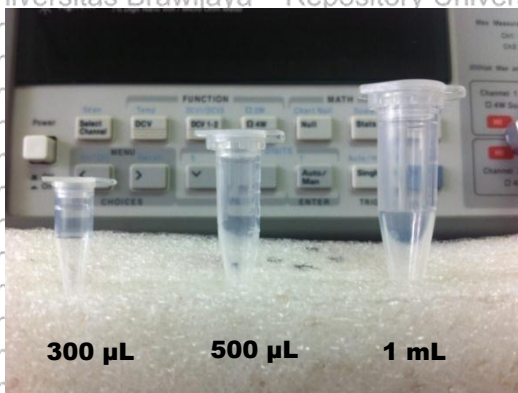
Banyaknya iterasi (putaran)	Jumlah volume cairan <i>sample</i>	Jumlah pergeseran garis indikator
1	0.022 μL	0.0018 garis
44	1 μL	0.08 garis
550	12.5 μL	1 garis

Sehingga untuk memperoleh 1 μL injeksi volume cairan *sample* dibutuhkan sebanyak 44 kali iterasi pada motor *stepper*, dengan pergeseran 0.08 garis indikator. Hasil kalibrasi tersebut mempermudah dalam pembuatan program pengontrolan motor *stepper* untuk menentukan volume cairan *sample* yang akan diinjeksikan per μL .

4.2.2. Kalibrasi volume cairan *sample* menggunakan *centrifuge tube*

Centrifuge tube merupakan tabung sentrifugal yang berfungsi sebagai takaran volume suatu cairan. Di dalam kalibrasi ini digunakan *centrifuge tube* dengan kapasitas volume 1 mL. Kalibrasi ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan volume yang dihasilkan oleh injeksi pompa mikroliter terhadap takaran volume dari *centrifuge tube*. Proses kalibrasi dilakukan dengan menginjeksikan sejumlah volume *sample* kedalam *centrifuge tube*. Jumlah volume diantaranya 20 μL , 30 μL dan 70 μL . Jumlah ini dipilih karena proses penginjeksian cairan pada permukaan sensor QCM berada pada rentang volume tersebut. Proses injeksi dilakukan beberapa kali pengulangan, untuk mengetahui perbandingan volume dari injeksi pompa mikroliter dengan volume takaran pada *centrifuge tube*. Setelah dilakukan perbandingan, hasil injeksi dari pompa

mikroliter memiliki selisih $\pm 1\mu\text{L}$ terhadap takaran volume *centrifuge tube*.



Gambar 4.7 *Centrifuge tube* yang digunakan untuk perbandingan volume pompa mikroliter

Dengan selisih volume $\pm 1\mu\text{L}$ antara cairan *sample* hasil injeksi pompa mikroliter dengan volume takaran dari *centrifuge tube* menunjukkan bahwa pompa mikroliter dapat digunakan untuk sistem injeksi cairan *sample* dengan toleransi volume $\pm 1\mu\text{L}$.

4.2.3. Kalibrasi volume cairan *sample* menggunakan mikropipet

Mikropipet merupakan salah satu alat yang digunakan untuk menginjeksikan suatu cairan *sample* di atas permukaan sensor QCM. Mikropipet memiliki beberapa ukuran volume penetasan dalam orde mikroliter. Tahap kalibrasi selanjutnya yaitu kalibrasi volume injeksi dari pompa mikroliter dengan cara membandingkan volume hasil dari injeksi mikropipet dengan volume injeksi hasil dari pompa mikroliter. Mikropipet yang digunakan memiliki rentang kapasitas injeksi dari $10\mu\text{L}$ sampai $100\mu\text{L}$. Sama seperti kalibrasi sebelumnya. Pada tahap kalibrasi ini volume injeksi dari mikropipete yang digunakan yaitu $20\mu\text{L}$, $30\mu\text{L}$ dan $70\mu\text{L}$. Dalam proses kalibrasi, cairan *sample* berupa air diinjeksikan dengan menggunakan mikropipet kedalam takaran *centrifuge tube* berkapasitas $1\mu\text{L}$. Setelah dilakukan penginjeksi dengan mikropipet kedalam *centrifuge tube*, hasil injeksi tersebut ditarik / disedot dengan menggunakan

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
pompa mikroliter dengan pengaturan jumlah volume yang sama ketika proses injeksi menggunakan mikropipet. Begitupun sebaliknya, dilakukan penginjeksian dengan pompa mikroliter kedalam *centrifuge tube*, kemudian hasil injeksi tersebut ditarik atau disedot dengan menggunakan mikropipet. Proses tersebut dilakukan berulang kali untuk setiap jumlah volume cairan yang diinjeksikan. Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara volume cairan *sample* yang diinjeksikan oleh mikropipet dan volume injeksi cairan *sample* dari pompa mikroliter.



Gambar 4.8 Mikropipet yang digunakan dalam proses kalibrasi volume injeksi cairan *sample*

Dilihat dari hasil perbandingan antara volume injeksi cairan oleh pompa mikroliter dengan injeksi cairan oleh mikropipet yaitu memiliki toleransi $\pm 1 \mu\text{L}$. Hasil tersebut memiliki kesamaan nilai toleransi ketika proses kalibrasi sebelumnya dengan menggunakan *centrifuge tube*. Dengan hasil tersebut maka pompa mikroliter dapat digunakan untuk proses injeksi cairan *sample* dengan toleransi $\pm 1 \mu\text{L}$ terhadap volume takaran *centrifuge tube* dan mikropipet.

4.3 Pengambilan Data

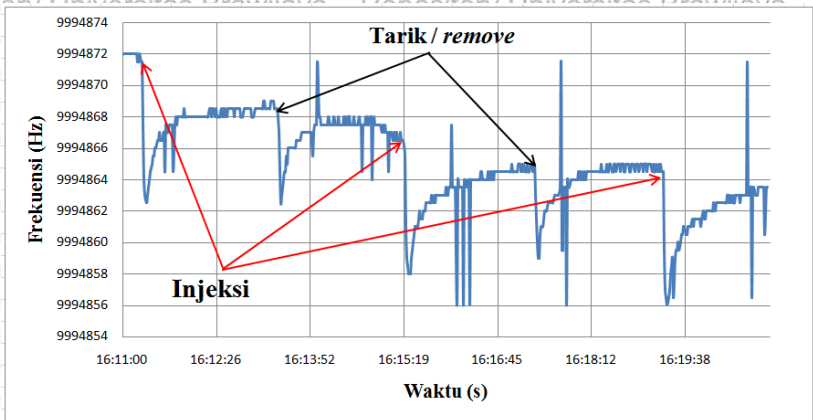
Tahap pengambilan data dilakukan untuk melihat sejauh manaujuk kerja secara keseluruhan dari sistem pompa mikroliter ketika digunakan untuk proses penginjeksian cairan *sample* di atas permukaan QCM. Beberapa komponen pendukung digunakan dalam proses pengambilan data, diantaranya yaitu pencacah frekuensi dan

software untuk mengetahui frekuensi respon dari sensor QCM. Pengambilan data dilakukan dengan menginjeksikan *sample* air ke permukaan sensor QCM yang ada di dalam konstruksi sel. Sejumlah 50 μ L air diinjeksikan kedalam permukaan sensor QCM, kemudian setelah respon frekuensi dari sensor QCM telah stabil, penambahan 30 μ L air secara kontinyu dilakukan oleh pompa mikroliter. Setelah respon frekuensi stabil, dilakukan penyedotan / penarikan *sample* air sebesar 30 μ L. Pada proses ini, permukaan dari sensor QCM dalam kondisi tetap terisi oleh *sample* air. Variabel dalam pengambilan data ini berupa *mode* proses penginjeksian (*mode normal injection* dan *slow injection*) kedua mode tersebut memiliki perbedaan dari segi putaran kecepatan motor ketika proses injeksi maupun proses penarikan cairan *sample*. Injeksi normal memiliki *delay* kecepatan 2 μ s per putaran step motor *stepper*, sedangkan injeksi pelan (*slow injection*) memiliki *delay* kecepatan bervariasi berurutan mulai dari 5 μ s, 4 μ s, 3 μ s dan 2 μ s. Untuk program *slow injection*, waktu *delay* dibuat seperti fungsi eksponensial, hal ini untuk membuat aliran air dalam pompa mengalir dengan aliran lambat.

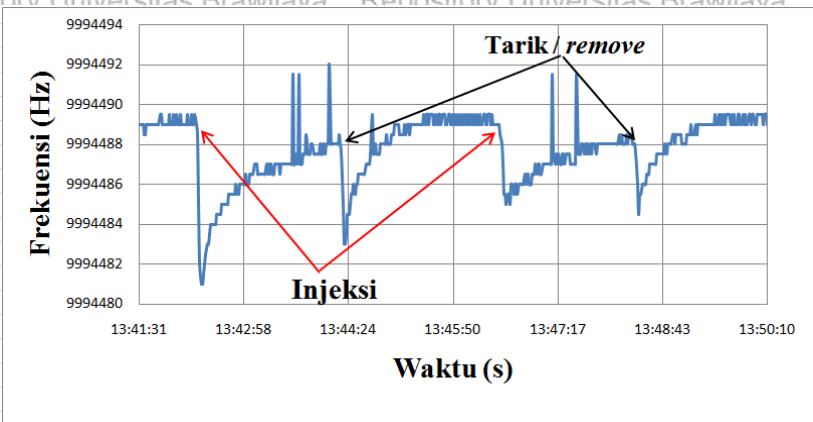
4.3.1. Injeksi dengan kecepatan normal (*normal injection*)

Proses penginjeksian dengan kecepatan normal / *normal injection* dilakukan dengan menginjeksikan sejumlah 30 μ L air dengan rentang waktu 2 menit. Hal ini untuk mengetahui respon perubahan frekuensi dari sensor QCM. Pada setiap proses untuk semua perlakuan, sensor QCM diisi penuh sebanyak 50 μ L air hingga permukaan sensor QCM terisi penuh oleh air, setelah respon frekuensi stabil, sebanyak 30 μ L air diinjeksikan, dengan waktu 2 menit dan respon frekuensi stabil maka selanjutnya dilakukan penarikan / penyedotan sebanyak 30 μ L. Proses tersebut dilakukan secara kontinyu dengan selisih waktu injeksi dan tarikan / *remove* yaitu 2 menit.

Sebelum melakukan proses penginjeksian dengan menggunakan pompa mikroliter, Sensor QCM sudah terlebih dahulu dilapisi dengan polistiren. Hal ini bertujuan untuk melindungi elektroda dan kristal yang sangat sensitif tersebut.



(a)

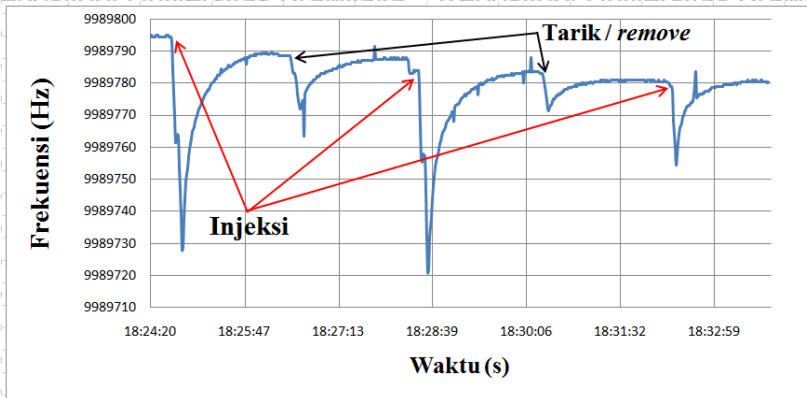


(b)

Gambar 4. 9 Respon frekuensi sensor QCM terhadap 30 μ l injeksi air oleh pompa mikroliter. (a) Proses 3 kali injeksi dan tarikan. (b) Proses 2 kali injeksi dan tarikan.

Gambar 4.9 menjelaskan tentang respon frekuensi dari sensor QCM terhadap proses injeksi pompa mikroliter. Penginjeksian pertama 50 μ l air menyebabkan frekuensi resonansi dari QCM turun. Pada proses ini permukaan sensor QCM dalam keadaan tertutup oleh air. Setelah frekuensi resonansi stabil, proses selanjutnya yaitu penambahan 30 μ l air dilakukan sehingga menyebabkan frekuensi resonansi awal dari QCM turun akibat adanya efek tekanan

hidrostatik pada sensor QCM, setelah proses penginjeksian maka frekuensi resonansi akan kembali naik menuju frekuensi stabil awal. Setelah frekuensi resonansi stabil dilakukan proses penarikan / *remove* sebanyak 30 μ l air, setelah proses penarikan tersebut, permukaan sensor QCM masih dalam keadaan terisi oleh air. Proses penarikan tersebut mengakibatkan frekuensi resonansi kembali turun karena adanya efek tekanan hidrostatik pada permukaan sensor QCM. Setelah proses penarikan, frekuensi resonansi kembali naik menuju frekuensi awalnya. Proses injeksi dan penarikan / *remove* berlangsung secara kontinyu dengan selisih waktu 2 menit. Respon frekuensi dari sensor QCM terhadap proses penginjeksian dengan mode *normal injection* juga ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Respon frekuensi sensor QCM terhadap proses 3 kali injeksi dan tarikan / *remove* dengan volume 30 μ l air.

4.3.2. Injeksi dengan kecepatan pelan (*slow injection*)

Di dalam pengambilan data, selain dilakukan penginjeksian dengan kecepatan normal maka dilakukan juga penginjeksian dengan kecepatan pelan / *slow injection*. Proses *slow injection* dilakukan dengan menginjeksikan sejumlah 30 μ l air keatas permukaan sensor QCM. Secara umum tahapan proses *slow injection* ini sama dengan proses penginjeksian dengan menggunakan mode *normal injection*. Sedikit perbedaan hanya pada segi kecepatan untuk mengalirkan

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada penelitian ini telah dibuat sistem injeksi cairan dengan komponen penggerak utama motor *stepper*. Transmisi mekanik merubah gerak rotasi pada motor *stepper* menjadi gerak translasi pada *disposable syringe*. Pompa mikroliter berpenggerak motor *stepper* dapat digunakan untuk proses penginjeksian cairan pada sistem sensor QCM.
2. Mikrokontroler PIC18F4550 digunakan sebagai sistem kontrol utama yang mengendalikan gerak dan kecepatan motor *stepper* berdasarkan referensi nilai masukan dari *keypad*. Program dibuat untuk menggerakkan motor *stepper* dengan mengontrol setiap *step* dan arah putaran motor *stepper*.
3. Secara keseluruhan, sistem injeksi cairan menggunakan penggerak motor *stepper* ini bekerja dengan baik. Proses penginjeksian cairan memiliki dua mode pilihan injeksi, yaitu *normal injection* dan *slow injection*, kedua mode injeksi memiliki perbedaan pada *delay time* putaran motor *stepper*. *Slow injection* menggunakan *delay* 5ms sedangkan *normal injection* menggunakan *delay* 2ms. Pompa mikroliter ini memiliki rentang kerja efektif pada rentang 20 μ l – 100 μ l dengan ketelitian ± 1 μ l dibandingkan dengan hasil injeksi mikropipet.

5.2. Saran

Untuk pengembangan sistem injeksi cairan pompa mikroliter selanjutnya, disarankan untuk mengintegrasikan pompa mikroliter dengan antarmuka HID (*Human Interface Devices*), agar lebih mempermudah *user* dalam pengoprasian alat sehingga dapat meminimalisir penggunaan beberapa komponen.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous¹. Fleming Left Hand rule and Fleming Right Hand rule. Akses tanggal 29 Juli, 2015, dari <http://www.electrical4u.com/fleming-left-hand-rule-and-fleming-right-hand-rule/>.
- Anonymous². Stepper Motors, Types of Stepper Motor. Akses tanggal 30 Juli, 2015, dari http://210.212.236.234/wiki/me/08.702/index.php/Stepper_motors.
- Anonymous³. Industrial Circuits Application Note Stepper Motor Basic. Akses tanggal 30 Juli, 2015, dari <http://www.solarbotics.net/library/pdf/lib/pdf/motorbas.pdf>.
- Barábas, Z.A. dan Morar, A. 2011. Unipolar Driver for Stepper Motor Control. , (Cc), pp.99–104.
- Chabibah, N. 2014. Pemanfaatan Quartz Crystal Microbalance (QCM) Untuk Mendeteksi Protein Spesifik Susu Sapi (PSS) 208 kDa. Brawijaya University.
- Encarnação, J.M. 2007. Development of Biosensors for Molecular Analysis Development of Biosensors for Molecular Analysis. Biosensor and Bioelectronics.
- Gassmann, S. dan Pagel, L. 2007. Flow injection analysis realized using PCBs. , pp.3239–3243.
- Grant, M. 2005. Quick Start for Beginners to Drive a Stepper Motor, Texas: Freescale Semiconductor.
- Heng, K.J. 2004. Quartz Crystal Microbalance : An Experimental Investigation on Liquid. Biosensor.
- Höök, P.F. dan Rudh, M. 2005. Quartz Crystal Microbalances (QCM) in biomacromolecular recognition. bisensor, (March).
- Hopkins, B.T. 2012. Application Note Stepper Motor Driving., (November).
- Hussain, Y., Krim, J. dan Grant, C. 2005. OTS adsorption : A dynamic QCM study. QCM, 262, pp.81–86.
- Jaruwongrunsee, K., Maturros, T. dan Sritongkum, P. 2009. Analysis of Quartz Crystal Microbalance Sensor Array with Circular Flow Chamber. QCM, pp.50–54.

Jie, H. 2006. Technical background, applications and implementation of quartz crystal microbalance systems. app QCM, (September).

Kiatronics. 2001. 28BYJ-48 – 5V Stepper Motor. In New Zealand: Welten Holdings Ltd, p. 8231.

KSV Instrument Ltd. 1980. What is a Quartz Crystal Microbalance - QCM., pp.2–5.

Kumar, A. dan Valarmathi, M. 2013. High Precision Stepper Motor Controller Implementation on FPGA with GUI on LabVIEW. Instrumentation and Engineering, 2(4), pp.1197–1202.

Lyshevski, S.E. 2014. Microstepping and high-performance control of Permanent-Magnet Stepper Motors. Energy Conversion and Management, 85, pp.245–253.

Maior, P., Mureş, T. dan A, A.L.S. 2012. One Channel Microstepping Motor Driver Board. Electrical Engineering and Computer Science, pp.297–304.

Michalzik, M., Wilke, R. dan Büttgenbach, S. 2005. Miniaturized QCM-Based Flow System for Immunosensor Application in Liquid. Sensors and Actuators, B: Chemical, 111-112(SUPPL.), pp.410–415.

Microchip. 2006. Enhanced Flash , USB Microcontrollers with nanoWatt Technology. In West Chandler Blvd. Microchip Technology, Inc.

Mulyono, T. 2012. Design Of Injection System With Fixed-Time Method for The Flow. Chemistry, pp.978–979.

Mulyono, T. dan Faruq, U. 2013. Desain Pompa Multi Syringe Untuk Analisa Sistem Alir Design of Multi Syringe Pump for Flow System Analysis. , 14(1), pp.17–21.

Parallax. 2011. 4x4 Matrix Membrane Keypad (# 27899). In 4x4 Matrix Membrane Keypad, Rocklin, USA: Parallax Inc., pp. 1–5.

Rao, E.V.C.S. dan Prasad, P.V.N. 2012. Torque Analysis of Permanent Magnet Hybrid Stepper Motor using Finite Element Method for Different Design Topologies. Power Electronics and Driver System, 2(1).

Sakti, S.P.,F. Wahyuni, U.P. Juswono, dan Aulanni'am. 2013. Development of QCM Immunosensor with Small Sample Solution for Detection of MMP-3 Antibody, Sensor and Transducers.

Sauerbrey, G. 1959. Verwendung von Schwingquarzen zur Wägung diinner Schichten und zur Mikrowägung. , 222.

STMicroelectronics. 2000. Dual Full - Bridge Driver. In Italy: STMicroelectronics.

Sullivan, C.K.O. dan Guilbault, G.G. 1999. Commercial quartz crystal microbalances – theory and applications. theory QCM, 14, pp.663–670.

Sutantri, R.E., Wulansari, I.H. dan Santjojo, D.J.D.H. 2014. Studi Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Morfologi pada Penumbuhan Lapisan ZnPc di Atas Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan Metode Evaporasi. Brawijaya.

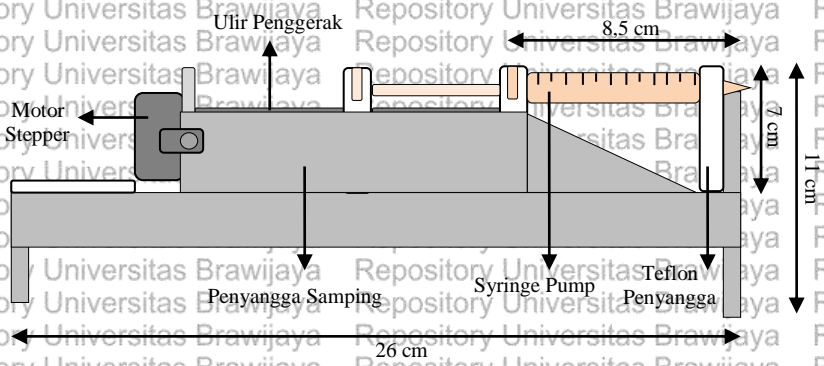
Syahrul. 2005. Motor Stepper: Teknologi, Metoda dan Rangkaian Kontrol, Bandung: UNIKOM.

Vishay. 2012. 16 x 4 Character LCD Standard Value Unit Electrical Characteristics Item Symbol. In Vishay,Inc, pp. 4–6.

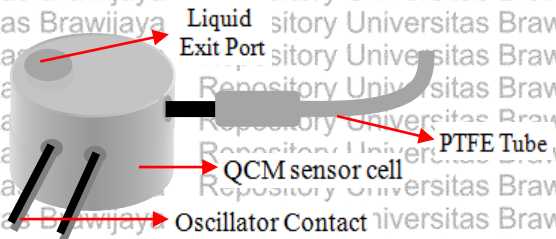
Wulandari, D.R. 2011. Pembuatan Sistem Injeksi dengan Metode Fixed - Time pada Flow Injection Analysis. Chemistry.

Zuxuan Lin, T. 1996. Improved Accuracy in Dynamic Quartz Crystal Microbalance Measurements of Surfactant Enhanced Spreading. QCM, 19, pp.7–8.

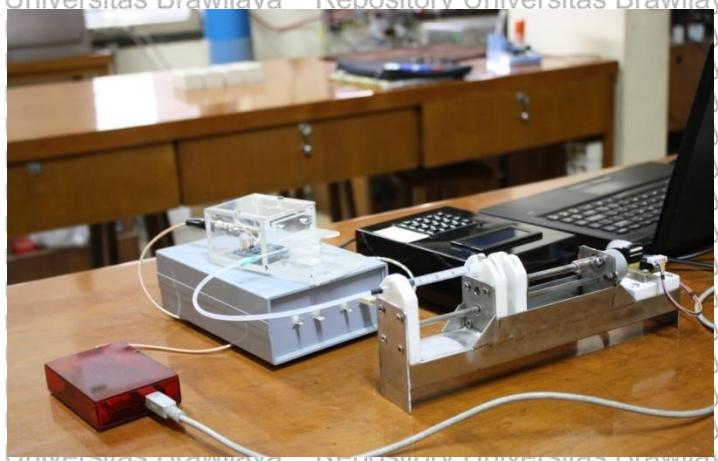
Lampiran 1



(a)



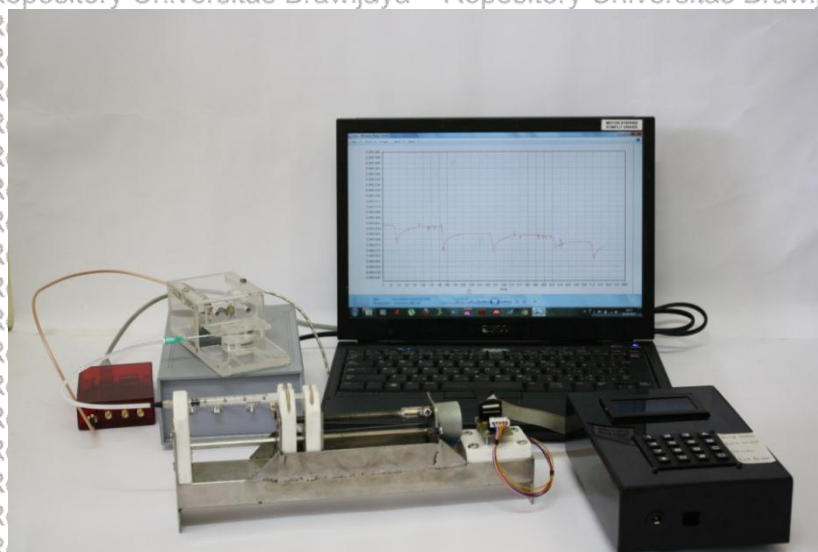
(b)



(c)



Gambar L1.1 Desain sistem injeksi pompa mikroliter



Gambar L1.2 Proses pengambilan data menggunakan frekuensi counter dan pompa mikroliter

Lampiran 3

Datasheet Keypad 4x4

PARALLAX

Web Site: www.parallax.com
Forums: forums.parallax.com
Sales: sales@parallax.com
Technical: support@parallax.com

Office: (916) 624-8333
Fax: (916) 624-0003
Sales: (800) 512-1024
Tech Support: (800) 997-9267

4x4 Matrix Membrane Keypad (#27899)

This 16-button keypad provides a useful human interface component for microcontroller projects. Convenient adhesive backing provides a simple way to mount the keypad in a variety of applications.

Features

- Ultra-thin design
- Adhesive backing
- Excellent price/performance ratio
- Easy interface to any microcontroller
- Example programs provided for the BASIC Stamp 2 and Propeller PBX32A microcontrollers

Key Specifications

- Maximum Rating: 24 VDC, 30 mA
- Interface: 8-pin access to 4x4 matrix
- Operating temperature: 32 to 122 °F (0 to 50°C)
- Dimensions:
Keypad: 2.7 x 3.0 in (6.9 x 7.6 cm)
Cable: 0.78 x 3.5 in (2.0 x 8.8 cm)

Application Ideas

- Security systems
- Menu selection
- Data entry for embedded systems



Lampiran 4

Datasheet Motor Driver L298



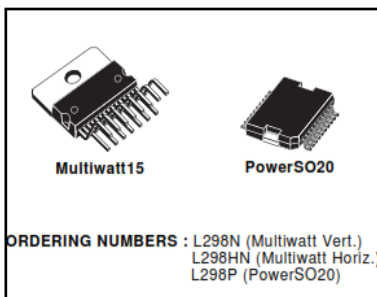
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-

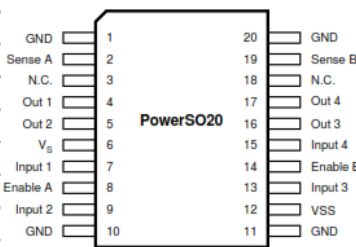


nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_o	Peak Output Current (each Channel) - Non Repetitive ($t = 100\mu s$) - Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$) - DC Operation	3 2.5 2	A A A
V_{sense}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$



Lampiran 5

Datasheet Mikrokontroler PIC18F4550



MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 μ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1 μ A typical
- Timer1 Oscillator: 1.1 μ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
 - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator options allow microcontroller and USB module to run at different clock speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns ($T_{cv}16$)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns (T_{cv})
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D) with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

Special Microcontroller Features:

- C Compiler Optimized Architecture with optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)
- Wide Operating Voltage Range (2.0V to 5.5V)

PIC18F2455/2550/4455/4550

TABLE 10-1: PORTA I/O SUMMARY

Pin	Function	TRIS Setting	I/O	I/O Type	Description
RA0/AN0	RA0	0	OUT	DIG	LATA<0> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<0> data input; disabled when analog input enabled.
	AN0	1	IN	ANA	A/D input channel 0 and Comparator C1- input. Default configuration on POR; does not affect digital output.
RA1/AN1	RA1	0	OUT	DIG	LATA<1> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<1> data input; reads '0' on POR.
	AN1	1	IN	ANA	A/D input channel 1 and Comparator C2- input. Default configuration on POR; does not affect digital output.
RA2/AN2/ VREF-/CVREF	RA2	0	OUT	DIG	LATA<2> data output; not affected by analog input. Disabled when CVREF output enabled.
		1	IN	TTL	PORTA<2> data input. Disabled when analog functions enabled; disabled when CVREF output enabled.
	AN2	1	IN	ANA	A/D input channel 2 and Comparator C2+ input. Default configuration on POR; not affected by analog output.
	VREF-	1	IN	ANA	A/D and comparator voltage reference low input.
	CVREF	x	OUT	ANA	Comparator voltage reference output. Enabling this feature disables digital I/O.
RA3/AN3/ VREF+	RA3	0	OUT	DIG	LATA<3> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<3> data input; disabled when analog input enabled.
	AN3	1	IN	ANA	A/D input channel 3 and Comparator C1+ input. Default configuration on POR.
	VREF+	1	IN	ANA	A/D and comparator voltage reference high input.
RA4/T0CKI/ C1OUT/RCV	RA4	0	OUT	DIG	LATA<4> data output; not affected by analog input.
		1	IN	ST	PORTA<4> data input; disabled when analog input enabled.
	T0CKI	1	IN	ST	Timer0 clock input.
	C1OUT	0	OUT	DIG	Comparator 1 output; takes priority over port data.
	RCV	x	IN	TTL	External USB Transceiver RCV input.
RA5/AN4/SS/ HLVDIN/C2OUT	RA5	0	OUT	DIG	LATA<5> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<5> data input; disabled when analog input enabled.
	AN4	1	IN	ANA	A/D input channel 4. Default configuration on POR.
	SS	1	IN	TTL	Slave select input for SSP (MSSP module).
	HLVDIN	1	IN	ANA	High/Low-Voltage Detect external trip point input.
	C2OUT	0	OUT	DIG	Comparator 2 output; takes priority over port data.
OBS2/CLKO/ RA6	OBS2	x	OUT	ANA	Main oscillator feedback output connection (all XT and HS modes).
	CLKO	x	OUT	DIG	System cycle clock output (FOSC/4); available in EC, ECPLL and INTCKO modes.
	RA6	0	OUT	DIG	LATA<6> data output. Available only in ECIO, ECPIO and INTIO modes; otherwise, reads as '0'.
1		IN	TTL	PORTA<6> data input. Available only in ECIO, ECPIO and INTIO modes; otherwise, reads as '0'.	

Legend: OUT = Output, IN = Input, ANA = Analog Signal, DIG = Digital Output, ST = Schmitt Buffer Input, TTL = TTL Buffer Input, x = Don't care (TRIS bit does not affect port direction or is overridden for this option)

Lampiran 6

Data Kalibrasi Volume Injeksi Terhadap Jumlah Iterasi Motor stepper

Volume (µl)	Jumlah Iterasi
1	44
2	88
3	132
4	176
5	220
6	264
7	308
8	352
9	396
10	440
11	484
12	528
13	572
14	616
15	660
16	704
17	748
18	792
19	836
20	880
21	924
22	968
23	1012
24	1056
25	1100
26	1144
27	1188
28	1232
29	1276
30	1320
31	1364
32	1408
33	1452
34	1496
35	1540
36	1584
37	1628
38	1672
39	1716
40	1760
41	1804
42	1848
43	1892
44	1936
45	1980
46	2024
47	2068
48	2112
49	2156
50	2200
51	2244
52	2288
53	2332



54	2376
55	2420
56	2464
57	2508
58	2552
59	2596
60	2640
61	2684
62	2728
63	2772
64	2816
65	2860
66	2904
67	2948
68	2992
69	3036
70	3080
71	3124
72	3168
73	3212
74	3256
75	3300
76	3344
77	3388
78	3432
79	3476
80	3520
81	3564
82	3608
83	3652
84	3696
85	3740

86	3784
87	3828
88	3872
89	3916
90	3960
91	4004
92	4048
93	4092
94	4136
95	4180
96	4224
97	4268
98	4312
99	4356
100	4400



Garis <i>syringe</i>	Jumlah Iterasi	Volume (μ l)
1	550	12,5
2	1100	25
3	1650	37,5
4	2200	50
5	2750	62,5
6	3300	75
7	3850	87,5
8	4400	100
9	4950	112,5
10	5500	125
11	6050	137,5
12	6600	150
13	7150	162,5
14	7700	175
15	8250	187,5
16	8800	200
17	9350	212,5
18	9900	225
19	10450	237,5
20	11000	250
21	11550	262,5
22	12100	275
23	12650	287,5
24	13200	300
25	13750	312,5
26	14300	325
27	14850	337,5
28	15400	350
29	15950	362,5
30	16500	375

31	17050	387,5
32	17600	400
33	18150	412,5
34	18700	425
35	19250	437,5
36	19800	450
37	20350	462,5
38	20900	475
39	21450	487,5
40	22000	500
41	22550	512,5
42	23100	525
43	23650	537,5
44	24200	550
45	24750	562,5
46	25300	575
47	25850	587,5
48	26400	600
49	26950	612,5
50	27500	625
51	28050	637,5
52	28600	650
53	29150	662,5
54	29700	675
55	30250	687,5
56	30800	700
57	31350	712,5
58	31900	725
59	32450	737,5
60	33000	750
61	33550	762,5
62	34100	775



63	34650	787,5
64	35200	800
65	35750	812,5
66	36300	825
67	36850	837,5
68	37400	850
69	37950	862,5
70	38500	875
71	39050	887,5
72	39600	900
73	40150	912,5
74	40700	925
75	41250	937,5
76	41800	950
77	42350	962,5
78	42900	975
79	43450	987,5
80	44000	1000

Lampiran 7

Listing Program

* File: POMPAMIKROLITERKU.c

* Author: Ridhanov

*

* Created on 24 Februari 2015, 10:12

```
#include <p18f4550.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <stdlib.h>
```

```
#include "konfigurasi_bit.h"
```

```
#define rs LATE0
```

```
#define rw LATE1
```

```
#define en LATE2
```

```
#define lcd_port LATD
```

```
unsigned int key, angka, prev, iterasi=44;
```

```
int n, A=0;
```

```
char disp[8];
```

```
// Fungsi delay dalam milisekon
```

```
void ms_delay(unsigned int delay){
```

```
    int i,j;
```

```
    for(i=0;i<delay;i++){
```

```
        for(j=0;j<310;j++){
```

```
        }
```

```
    }
```

```
}
```

```
// Fungsi untuk memberikan perintah ke LCD
```

```
void lcd_perintah(unsigned char perintah){
```

```
    lcd_port = perintah;
```

```
    rs = 0;
```

```
    rw = 0;
```

```
    en = 1;
```

```
    ms_delay(20);
```

```
    en = 0;
```



```
// Fungsi untuk mengirim data ke LCD
```

```
void lcd_data(unsigned char data){
    lcd_port = data;
    rs = 1;
    rw = 0;
    en = 1;
    ms_delay(20);
    en = 0;
}
```

```
// Fungsi untuk mengirim string dan tampil di LCD
```

```
void lcd_tampil(char *tampil){
    int x=0;
    while(tampil[x]!=0)
    {
        lcd_data(tampil[x]);
        x++;
    }
}
```

```
// Fungsi untuk inisialisasi LCD
```

```
void lcd_inisial(){
    lcd_perintah(0x38);ms_delay(20);
    lcd_perintah(0x80);ms_delay(20);
    lcd_perintah(0xc0);ms_delay(20);
    lcd_perintah(0x0c);ms_delay(20);
    lcd_perintah(0x01);ms_delay(20);
}
```

```
// Putaran Motor Stepper
```

```
void maju(){
    for (n=0;n<A.n++;){
        PORTA = 0b00001001;// 1
        ms_delay (5);
        PORTA = 0b00000001;// 2
        ms_delay (5);
        PORTA = 0b00000011;// 3
        ms_delay (4);
        PORTA = 0b00000010;// 4
        ms_delay (4);
        PORTA = 0b00000110;// 5
        ms_delay (4);
    }
}
```



```

PORTA = 0b00000100; // 6
ms_delay (3);
PORTA = 0b00001100; // 7
ms_delay (3);
PORTA = 0b00001000; // 8
ms_delay (2);
PORTA = 0b00001001;
ms_delay (2);}
}

void mundur(){
for (n=0;n<A;n++){
PORTA = 0b00001001;
ms_delay (5);
PORTA = 0b00001000; // 8
ms_delay (5);
PORTA = 0b00001100; // 7
ms_delay (4);
PORTA = 0b00000100; // 6
ms_delay (4);
PORTA = 0b00000110; // 5
ms_delay (4);
PORTA = 0b00000010; // 4
ms_delay (3);
PORTA = 0b00000011; // 3
ms_delay (3);
PORTA = 0b00000001; // 2
ms_delay (2);
PORTA = 0b00001001; // 1
ms_delay (2);}
}

void maju_cepat(){
for (n=0;n<A;n++){
PORTA = 0b00001001; // 1
ms_delay (2);
PORTA = 0b00000001; // 2
ms_delay (2);
PORTA = 0b00000011; // 3
ms_delay (2);
PORTA = 0b00000010; // 4
ms_delay (2);
PORTA = 0b00000110; // 5
ms_delay (2);

```



```

PORTA = 0b00000100; // 6
ms_delay (2);
PORTA = 0b00001100; // 7
ms_delay (2);
PORTA = 0b00001000; // 8
ms_delay (2);
PORTA = 0b00001001;
ms_delay (2);}
}

void mundur_cepat(){
for (n=0;n<A;n++){
PORTA = 0b00001001;
ms_delay (2);
PORTA = 0b00001000; // 8
ms_delay (2);
PORTA = 0b00001100; // 7
ms_delay (2);
PORTA = 0b00000100; // 6
ms_delay (2);
PORTA = 0b00000110; // 5
ms_delay (2);
PORTA = 0b00000010; // 4
ms_delay (2);
PORTA = 0b00000001; // 3
ms_delay (2);
PORTA = 0b00000001; // 2
ms_delay (2);
PORTA = 0b00001001; // 1
ms_delay (2);}
}

```

// Fungsi untuk Insialisasi Keypad

```

void keypad() {
key = 100;
TRISB= 0b00001111;
LATB7=1;
LATB6=1;
LATB5=1;
LATB4=0;

```

```

if (RB0==0){
lcd_perintah(0x90);

```



```
lcd_perintah(0xc0);  
lcd_tampil(".....");  
maju_cepat();  
lcd_perintah(0x01);  
}
```

```
else if (RB1==0){
```

```
//lcd_tampil("9");
```

```
key = 9;}
```

```
else if (RB2==0){
```

```
//lcd_tampil("8");
```

```
key = 8;}
```

```
else if (RB3==0){
```

```
//lcd_tampil("7");
```

```
key = 7;}
```

```
LATB7=1;
```

```
LATB6=0;
```

```
LATB5=1;
```

```
LATB4=1;
```

```
if (RB0==0){
```

```
lcd_perintah(0x90);
```

```
lcd_tampil(".....");
```

```
ms_delay(500);
```

```
lcd_perintah(0x01);
```

```
A=angka*iterasi;
```

```
lcd_perintah(0xc0);
```

```
lcd_tampil(" Tarik.");
```

```
key = 100;
```

```
mundur_cepat();
```

```
lcd_perintah(0x01);
```

```
}
```

```
else if (RB1==0){
```

```
//lcd_tampil("6");
```

```
key = 6; }
```

```
else if (RB2==0){
```

```
//lcd_tampil("5");
```

```
key = 5; }
```

```
else if (RB3==0){
```

```
//lcd_tampil("4");
```

```
key = 4; }
```

```
LATB7=0;
```

```
LATB6=1;
```

```
92
```

```

LATB5=1;
LATB4=1;
if (RB0==0){
    lcd_perintah(0x90);
    lcd_tampil(" .....");
    ms_delay(500);
    lcd_perintah(0x01);
    A=angka*iterasi;
    lcd_perintah(0xc0);
    lcd_tampil("  dorong..");
    key =100;
    maju_cepat();
    lcd_perintah(0x01);
}
else if (RB1==0){
    // lcd_tampil("3");
    key = 3; }
else if (RB2==0){
    //lcd_tampil("2");
    key = 2; }
else if (RB3==0){
    //lcd_tampil("1");
    key = 1; }
ms_delay(80);
if (key!=100)
{
    angka*=10;
    angka+=key;
    if (angka>9999)
    { lcd_perintah(0x01);
      angka = key; }
}
}

void main(void) {
    // PORT D sebagai keluaran
    unsigned char cacah = 0;
    TRISD = 0x00;
    ADCON1bits.PCFG0=1;
    ADCON1bits.PCFG1=1;
    ADCON1bits.PCFG2=1;
    ADCON1bits.PCFG3=1;
}

```

```
INTCON2bits.RBPU=0;
CMCONbits.CM0=1;
CMCONbits.CM1=1;
CMCONbits.CM2=1;
ADCON0bits.ADON=0; // disable ADC
TRISA=0x00;
```

```
// Bit 0 PORTE sebagai keluaran
```

```
TRISE0 = 0;
```

```
// Bit 1 PORTE sebagai keluaran
```

```
TRISE1 = 0;
```

```
// Bit 2 PORTE sebagai keluaran
```

```
TRISE2 = 0;
```

```
//Inisialisasi LCD
```

```
lcd_inisial();
```

```
lcd_perintah(0xc0);
```

```
lcd_tampil(" CRG ASMAT ...");
```

```
ms_delay(2000);
```

```
lcd_perintah(0x01);
```

```
lcd_perintah(0x80);
```

```
lcd_tampil(" Low Noise");
```

```
lcd_perintah(0xc0);
```

```
ms_delay(500);
```

```
lcd_tampil("Micro Liter Pump");
```

```
ms_delay(3000);
```

```
lcd_perintah(0x01);
```

```
lcd_perintah(0x80);
```

```
lcd_tampil(" Fungsi Tombol");
```

```
ms_delay(500);
```

```
lcd_perintah(0xc0);
```

```
lcd_tampil(" A = Tarik (cpt)");
```

```
ms_delay(500);
```

```
lcd_perintah(0x90);
```

```
lcd_tampil(" B = Dorong (cpt)");
```

```
ms_delay(500);
```

```
lcd_perintah(0xD0);
```

```
lcd_tampil(" C = Kalibrasi");
```

```
ms_delay(3000);
```

```
lcd_perintah(0x01);
```

```
lcd_perintah(0x80);
```

```
lcd_tampil(" D = Tarik (nrm)");
```

```
ms_delay(500);
```

```
lcd_perintah(0xc0);
```



```

lcd_tampil("# = Dorong (nrm)");
ms_delay(500);
lcd_perintah(0x90);
lcd_tampil("* = Reset Nilai");
ms_delay(3000);
lcd_perintah(0x01);

while(1) {
    lcd_perintah(0x80);
    lcd_tampil("Masukan Nilai: ");
    lcd_perintah(0xc0);
    keypad();
    itoa(disp.angka,10);
    lcd_perintah(0xc0);
    lcd_tampil(disp);
    lcd_tampil(" mikroliter");
    ms_delay(50);
}
}

```

```

// PIC18F4550 Configuration Bit Settings
// 'C' source line config statements
#include <xc.h>

// #pragma config statements should precede project file includes.
// Use project enums instead of #define for ON and OFF.

// CONFIG1L
#pragma config PLLDIV = 5 // PLL Prescaler Selection bits (No prescale
(4 MHz oscillator input drives PLL directly))
#pragma config CPUDIV = OSC1_PLL2 // System Clock Postscaler
Selection bits (Primary Oscillator Src: /1 [96 MHz PLL Src: /2])
#pragma config USBDIV = 1 // USB Clock Selection bit (used in Full-
Speed USB mode only; UCFG:FSEN = 1) (USB clock source
comes directly from the primary oscillator block with no postscale)

// CONFIG1H
#pragma config FOSC = HS // Oscillator Selection bits (EC oscillator,
CLKO function on RA6 (EC))

```



```

#pragma config FCMEN = OFF // Fail-Safe Clock Monitor Enable bit
(Fail-Safe Clock Monitor disabled)
#pragma config IESO = OFF // Internal/External Oscillator Switchover
bit (Oscillator Switchover mode disabled)

// CONFIG2L
#pragma config PWRT = ON/OFF // Power-up Timer Enable bit (PWRT
disabled)
#pragma config BOR = ON // Brown-out Reset Enable bits (Brown-out
Reset enabled in hardware only (SBOREN is disabled))
#pragma config BORV = 3 // Brown-out Reset Voltage bits (Minimum
setting)
#pragma config VREGEN = OFF // USB Voltage Regulator Enable bit
(USB voltage regulator disabled)

// CONFIG2H
#pragma config WDT = OFF // Watchdog Timer Enable bit (WDT disabled
(control is placed on the SWDTEN bit))
#pragma config WDTPS = 32768 // Watchdog Timer Postscale Select bits
(1:32768)

// CONFIG3H
#pragma config CCP2MX = ON // CCP2 MUX bit (CCP2 input/output is
multiplexed with RC1)
#pragma config PBADEN = ON // PORTB A/D Enable bit (PORTB<4:0>
pins are configured as analog input channels on Reset)
#pragma config LPT1OSC = OFF // Low-Power Timer 1 Oscillator Enable
bit (Timer1 configured for higher power operation)
#pragma config MCLRE = ON // MCLR Pin Enable bit (MCLR pin
enabled; RE3 input pin disabled)

// CONFIG4L
#pragma config STVREN = ON // Stack Full/Underflow Reset Enable bit
(Stack full/underflow will cause Reset)
#pragma config LVP = OFF // Single-Supply ICSP Enable bit (Single-
Supply ICSP disabled)
#pragma config ICPRT = OFF // Dedicated In-Circuit Debug/Programming
Port (ICPORT) Enable bit (ICPORT disabled)
#pragma config XINST = OFF // Extended Instruction Set Enable bit
(Instruction set extension and Indexed Addressing mode
disabled (Legacy mode))

// CONFIG5L
#pragma config CP0 = OFF // Code Protection bit (Block 0 (000800-

```



```

001FFFh) is not code-protected)
#pragma config CP1 = OFF // Code Protection bit (Block 1 (002000-
003FFFh) is not code-protected)
#pragma config CP2 = OFF // Code Protection bit (Block 2 (004000-
005FFFh) is not code-protected)
#pragma config CP3 = OFF // Code Protection bit (Block 3 (006000-
007FFFh) is not code-protected)
// CONFIG5H
#pragma config CPB = OFF // Boot Block Code Protection bit (Boot
block (000000-0007FFFh) is not code-protected)
#pragma config CPD = OFF // Data EEPROM Code Protection bit (Data
EEPROM is not code-protected)
// CONFIG6L
#pragma config WRT0 = OFF // Write Protection bit (Block 0 (000800-
001FFFh) is not write-protected)
#pragma config WRT1 = OFF // Write Protection bit (Block 1 (002000-
003FFFh) is not write-protected)
#pragma config WRT2 = OFF // Write Protection bit (Block 2 (004000-
005FFFh) is not write-protected)
#pragma config WRT3 = OFF // Write Protection bit (Block 3 (006000-
007FFFh) is not write-protected)
// CONFIG6H
#pragma config WRTC = OFF // Configuration Register Write
Protection bit (Configuration registers (300000-3000FFFh)
are not write-protected)
#pragma config WRTB = OFF // Boot Block Write Protection bit (Boot
block (000000-0007FFFh) is not write-protected)
#pragma config WRTD = OFF // Data EEPROM Write Protection bit
(Data EEPROM is not write-protected)
// CONFIG7L
#pragma config EBTR0 = OFF // Table Read Protection bit (Block 0
(000800-001FFFh) is not protected from table reads
executed in other blocks)
#pragma config EBTR1 = OFF // Table Read Protection bit (Block 1
(002000-003FFFh) is not protected from table reads
executed in other blocks)
#pragma config EBTR2 = OFF // Table Read Protection bit (Block 2
(004000-005FFFh) is not protected from table reads
executed in other blocks)

```



```
#pragma config EBTR3 = OFF // Table Read Protection bit (Block 3
(006000-007FFFh) is not protected from table reads
executed in other blocks)
```

```
// CONFIG7H
#pragma config EBTRB = OFF // Boot Block Table Read Protection bit
(Boot block (000000-0007FFh) is not protected from
table reads executed in other blocks)
```

```
#define XTAL_FREQ 20000000
```