

**ALAT PENGUKUR KADAR BETA KAROTEN
DALAM MINYAK GORENG**

**SKRIPSI
KONSENTRASI ELEKTRONIKA**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :
MISBAHUL MUNIR
NIM. 0410630062

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2009

LEMBAR PERSETUJUAN

**ALAT PENGUKUR KADAR BETA KAROTEN
DALAM MINYAK GORENG**

**SKRIPSI
KONSENTRASI ELEKTRONIKA**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :
MISBAHUL MUNIR
NIM. 0410630062

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing :

Ir. Nanang Sulistiyanto
NIP. 19700113 199403 1 002

Ir. M. Julius St., MS.
NIP. 19540720 198203 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

**ALAT PENGUKUR KADAR BETA KAROTEN
DALAM MINYAK GORENG**

Disusun Oleh :

MISBAHUL MUNIR
NIM. 0410630062

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 11 November 2009

Dosen Penguji :

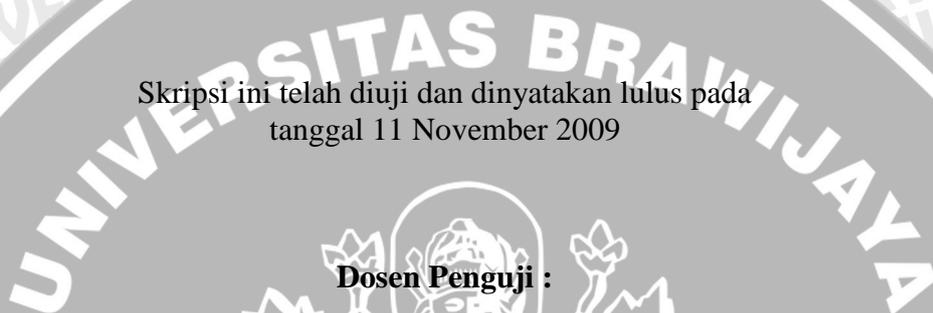
Dr. Agung Darmawansyah, ST., MT.
NIP. 19721218 199903 1 002

Ir. Ponco Siwindarto, MS.
NIP. 19590304 198903 1 001

Panca Mudjirahardjo, ST., MT.
NIP. 19700329 200012 1 001

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., M.Sc.
NIP. 19710615 199802 1 003



PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT., yang dengan ridho dan kehendak-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul “Alat Pengukur Kadar Beta Karoten Dalam Minyak Goreng”. Penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Nanang Sulistiyanto dan Bapak Ir. M. Julius St., MS., sebagai dosen pembimbing atas saran, konsultasi, ilmu, kesabaran, dan waktu yang telah diberikan dalam pengerjaan hingga penyelesaian skripsi ini. Tidak terkecuali, ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Rudy Yuwono, ST., MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak M. Azis Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ir. Chairuzzaini selaku dosen pembimbing akademik, yang telah memberikan nasehat selama penulis belajar di Jurusan Teknik Elektro.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro.
5. Ayah, Ibu dan beserta seluruh keluarga besar tercinta atas doa, dan semangat yang selalu diberikan pada penulis.
6. Mas Burhan, Mas Agus, Mas Ricki, Arfin, Feri, Edi, Fathul, Jarot dan seluruh sahabat sebagai keluarga yang selalu berbagi dengan suka maupun duka.
7. Asisten Laboratorium Sistem Digital dan seluruh rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro atas kebersamaan dan pengetahuannya, serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari akan adanya kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kelengkapan dan kesempurnaan skripsi ini.

Malang, Oktober 2009

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Beta Karoten	4
2.1.1. Uji Kadar Beta Karoten	5
2.1.2. Uji Kadar Beta Karoten Dalam Minyak Goreng	6
2.2. Metode Spektrofotometri	7
2.3. <i>Blue LED</i> dan Fototransistor	9
2.3.1. <i>Blue LED</i>	9
2.3.2. Fototransistor	10
2.4. Op. Amp. LM358N	11
2.5. Mikrokontroler R8C/13	11
2.5.1. Clock CPU	14
2.5.2. Interupsi dalam Mikrokontroler R8C/13	15
2.5.3. <i>Timer X</i>	15
2.5.3.1. Mode Pengukur Selang Waktu	16
2.5.4. <i>Analog to Digital Converter (ADC)</i>	16
2.6. <i>Liquid Crystal Display (LCD)</i>	17

BAB III METODOLOGI

3.1. Metode Dalam Perancangan dan Pembuatan Alat 20
 3.2. Metode Dalam Pengujian Alat dan Analisis Data 20

BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM

4.1. Penentuan Spesifikasi Alat 22
 4.2. Gambaran Keseluruhan Sistem..... 22
 4.3. Prinsip Kerja Alat Ukur Kadar Beta Karoten Dalam Minyak Goreng ... 23
 4.4. Perancangan Perangkat Keras..... 24
 4.4.1. Perancangan Sensor Fotometri 24
 4.4.2. Perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal 25
 4.4.2.1. Pengujian Terhadap Nilai Output Maksimal Sensor 25
 4.4.2.2. Pengujian Terhadap Nilai Output Maksimal Op. Amp. 26
 4.4.2.3. Perancangan Gain Pengkondisi Sinyal 26
 4.4.3. Perancangan Sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD 2x16 bit.. 27
 4.5. Perancangan Perangkat Lunak 29
 4.5.1. Program Untuk Proses Kalibrasi..... 30
 4.5.2. Program Utama Sistem 30
 4.5.2.1. Hasil Uji Laboratorium Sampel Minyak Goreng 31
 4.5.2.2. Perancangan Berdasarkan Proses Kalibrasi..... 33
 4.5.2.3. Penentuan Jangkauan Ukur dan Resolusi Alat 41
 4.5.2.4. Perancangan Program Utama Sistem 43

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

5.1. Pengujian Respon Pada Masing-masing Bagian Sistem..... 46
 5.1.1. Pengujian Rangkaian Fotometri..... 46
 5.1.2. Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal 47
 5.1.3. Pengujian Sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD 2x16 bit 48
 5.2. Pengujian Akhir Keseluruhan Sistem 49

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan 51
 6.2. Saran 51



DAFTAR PUSTAKA 52

LAMPIRAN 53



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Warna dan spektrum cahaya	7
Tabel 2.2	Karakteristik <i>Blue LED</i> tipe W05A3SBI4-N	9
Tabel 2.3	Interupsi Perangkat Keras.....	15
Tabel 2.4	Konfigurasi Pin LCD dan Fungsinya	19
Tabel 4.1	Pengujian Nilai Output Maksimal Op. Amp.	26
Tabel 4.2	Hasil Uji Kurva Standar Beta Karoten	31
Tabel 4.3	Hasil Uji Beta Karoten Dalam Sampel Minyak Goreng.....	32
Tabel 4.4	Kadar Beta Karoten Dalam Sampel Minyak Goreng	32
Tabel 4.5	Hasil Kalibrasi Kadar β Karoten	34
Tabel 4.6	Hubungan data ADC dengan kadar β karoten	35
Tabel 4.7	Data-data untuk Persamaan 4.7	36
Tabel 4.8	Perbandingan Hasil Kalibrasi dan Perhitungan Persamaan 4.8 .	37
Tabel 4.9	Data-data untuk Persamaan 4.9	39
Tabel 4.10	Perbandingan Hasil Kalibrasi dan Perhitungan Persamaan 4.10.	40
Tabel 4.11	Perbandingan data pengukuran alat dengan data sebenarnya	42
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Rangkaian Fotometri	46
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal.....	47
Tabel 5.3	Pengujian Sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD 2x16 bit ...	48
Tabel 5.4	Hasil pengujian akhir sistem.....	49

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Warna-warna komplementer	8
Gambar 2.2	Grafik I_F terhadap λ dominan <i>Blue LED</i>	9
Gambar 2.3	Grafik V_F terhadap I_F <i>Blue LED</i>	9
Gambar 2.4	Grafik λ terhadap sensitivitas relatif Fototransistor	10
Gambar 2.5	Rangkaian Penguat <i>Non Inverting</i>	11
Gambar 2.6	Blok Diagram Mikrokontroler R8C/13	12
Gambar 2.7	Konfigurasi Pin Mikrokontroler R8C/13	13
Gambar 2.8	Struktur <i>Timer X</i>	16
Gambar 2.9	Struktur ADC Mikrokontroler R8C/13	17
Gambar 2.10	Blok Diagram LCD LMB162A	18
Gambar 4.1	Blok Diagram Sistem	22
Gambar 4.2	Rangkaian Sensor Fotometri	24
Gambar 4.3	Rangkaian Pengkondisi Sinyal	26
Gambar 4.4	Rangkaian Sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD.....	28
Gambar 4.5	Diagram Alir program untuk proses kalibrasi	30
Gambar 4.6	Kurva Standar Beta Karoten Hasil Pengujian	31
Gambar 4.7	Grafik penentuan kadar beta karoten sampel	32
Gambar 4.8	Grafik kadar beta karoten terhadap data ADC	36
Gambar 4.9	Grafik Fungsi I kadar beta karoten terhadap data ADC	38
Gambar 4.10	Grafik Fungsi I dan II kadar beta karoten terhadap data ADC...	40
Gambar 4.11	Diagram Alir Program Utama	44
Gambar 5.1	Pengujian Rangkaian Fotometri	46
Gambar 5.2	Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal	47

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Listing Program Dalam Pemrograman Mikrokontroler	53
Lampiran 2.	Gambar Rangkaian Keseluruhan dan Foto Alat	62
Lampiran 3.	Data Sheet Sebagai Sumber Referensi	64



RINGKASAN

Misbahul Munir (NIM. 0410630062), Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Oktober 2009, “Alat Pengukur Kadar Beta Karoten Dalam Minyak Goreng”,

Dosen Pembimbing : Ir. Nanang Sulistiyanto dan Ir. M. Julius St., MS.

Minyak goreng adalah salah satu kebutuhan pokok setiap manusia. Kualitas suatu minyak goreng bisa ditentukan dari kandungan bahan yang terdapat dalam minyak goreng tersebut. Salah satu zat penting yang terkandung dalam minyak goreng khususnya yang terbuat dari kelapa sawit adalah beta karoten. Beta karoten merupakan zat provitamin A yang berguna sebagai anti oksidan dalam tubuh manusia. Bermula dari hal tersebut, kita bisa menentukan tingkat kualitas dari suatu minyak goreng berdasarkan angka kandungan beta karoten yang terdapat didalamnya.

Dengan memanfaatkan metode spektrofotometri absorpsi yang memanfaatkan interaksi penyerapan cahaya oleh suatu zat atau molekul, maka dibuatlah suatu rangkaian elektronik yang dapat mengukur kadar beta karoten yang terdapat dalam suatu minyak goreng. Dengan menggunakan LED *super bright blue* dan fototransistor sebagai sumber dan sensor cahaya, IC LM358N sebagai penguat operasional, Mikrokontroler R8C/13 sebagai sistem pengendali, dan Modul LCD LMB162A sebagai display, sehingga dapat dirancang suatu alat yang berfungsi untuk mengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng.

Dari hasil pengujian dan analisis data yang dilakukan dan telah dibandingkan dengan pengujian secara konvensional dalam suatu laboratorium, sehingga didapatkan spesifikasi alat pengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini antara lain: dapat mengukur kadar beta karoten antara range 0 – 2,36 $\mu\text{g/ml}$, dengan resolusi alat ini sebesar 0,09 $\mu\text{g/ml}$, dan alat ini hanya dapat digunakan untuk mengukur kadar beta karoten yang terkandung dalam sampel minyak goreng saja.

Kata Kunci : Minyak goreng, Beta karoten, Spektrofotometri.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Minyak goreng merupakan salah satu dari sekian bahan pokok yang sering dikonsumsi oleh banyak orang. Jenis minyak goreng berdasarkan asal bahan pembuatannya ada bermacam-macam, saat ini di pasaran banyak beredar minyak goreng yang terbuat dari bahan dasar seperti dari minyak kelapa, minyak sawit, minyak kedelai, minyak jagung, dan minyak biji bunga matahari. Bahkan ada juga yang merupakan campuran dua macam minyak. Namun yang sering kita jumpai dipasaran saat ini adalah minyak goreng yang terbuat dari kelapa sawit.

Kebanyakan orang dalam memilih minyak goreng lebih mempertimbangkan warna yaitu warna minyak goreng yang kuning muda lebih banyak disukai. Padahal, warna tidak menentukan kualitas minyak. Yang penting adalah kejernihan dan bau. Minyak apa pun warnanya, jika jernih dan tidak tengik berarti minyak itu bagus. Selain dari kejernihan dan baunya tersebut, menurut beberapa penelitian minyak goreng yang paling baik adalah yang berwarna kuning kemerahan. Karena minyak goreng berwarna kuning kemerahan yang terbuat dari kelapa sawit justru mengandung beta karoten (provitamin A) lebih banyak. Beta karoten itu sendiri adalah suatu zat antioksidan yang sangat penting perannya bagi kesehatan tubuh kita (Muchtadi, 2005).

Karena masyarakat lebih senang minyak goreng berwarna kuning muda, biasanya oleh produsen minyak goreng dilakukan penyaringan beberapa kali. Akibatnya, beta karoten alami akan banyak yang hilang pada saat proses penyaringan tersebut. Dan sebagai gantinya para produsen akan menambahkan vitamin A ke dalam minyak goreng tersebut. Tentu saja hal itu akan mengurangi kualitas dari minyak goreng tersebut, karena beta karoten (provitamin A) alami jauh lebih banyak keunggulannya jika dibandingkan dengan vitamin A buatan (Amrinola, 2008).

Kadar beta karoten dalam satu merk minyak goreng berbeda dengan minyak goreng merk lainnya. Oleh karena itu, sebagai konsumen yang mengerti tentang kesehatan sebaiknya kita lebih memilih minyak goreng yang lebih banyak mengandung beta karoten dibandingkan minyak goreng lainnya. Karena tidak semua produsen mencantumkan nilai kandungan beta karoten dalam kemasan produk minyak gorengnya, sehingga diperlukan suatu cara untuk dapat mengetahui kadar beta karoten dalam suatu produk minyak goreng.

Untuk mengatasi permasalahan diatas maka perlu dibuat suatu alat yang dapat mengukur kandungan beta karoten dalam minyak goreng secara otomatis. Alat ini berfungsi untuk mengukur kadar beta karoten yang terkandung dalam suatu jenis minyak goreng per satuan *volume*. Dengan dibuatnya alat ini maka diharapkan kita sebagai konsumen dapat dengan mudah mengetahui besarnya kadar beta karoten yang terkandung dalam suatu jenis minyak goreng. Dengan demikian para konsumen dapat mengetahui tingkat mutu suatu minyak goreng berdasarkan kandungan beta karoten yang terdapat di dalamnya.

1.2. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dari latar belakang yang telah dipaparkan adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana cara mengetahui kadar beta karoten dalam minyak goreng.
- b. Bagaimana cara merancang dan membuat suatu alat yang dapat mengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng.
- c. Bagaimana cara merancang *hardware* untuk antarmuka Mikrokontroler Renesas tipe R8C/13 dengan rangkaian alat ukur dan LCD.
- d. Bagaimana cara merancang *software* untuk antarmuka Mikrokontroler Renesas tipe R8C/13 dengan rangkaian alat ukur dan LCD.
- e. Bagaimana prinsip kerja alat pengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng.
- f. Bagaimana cara mengoperasikan alat pengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng.

1.3. Batasan Masalah

Dari masalah yang telah dirumuskan, maka batasan untuk alat yang akan dirancang sebagai berikut:

- a. Alat ini hanya mengukur kadar beta karoten yang terkandung dalam suatu minyak goreng yang terbuat dari bahan kelapa sawit saja.
- b. Minyak goreng yang dijadikan obyek pengukuran adalah minyak goreng baru yang belum pernah digunakan untuk menggoreng.
- c. Tidak membahas kandungan zat lain dalam minyak goreng selain beta karoten.
- d. Alat ini menggunakan metode spektrofotometri dengan cahaya berpanjang gelombang tertentu.

1.4. Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah terancangny suatu alat yang dapat mengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng. Diharapkan dengan adanya alat ini, kita dapat mengetahui kadar beta karoten yang terkandung dalam suatu jenis minyak goreng dan juga dapat mengetahui kualitas dari suatu jenis minyak goreng berdasarkan nilai kadar beta karoten yang terkandung di dalamnya.

1.5. Sistematika Penulisan

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

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

BAB III Metodologi

Berisi tentang metode – metode perancangan alat, pengujian alat dan analisis data.

BAB IV Perancangan Alat

Perancangan alat yang meliputi spesifikasi alat, perancangan blok diagram, prinsip kerja dan pembuatan alat.

BAB V Pengujian Alat dan Analisis

Memuat hasil pengujian terhadap alat yang telah direalisasikan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat kesimpulan dan saran-saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini dibutuhkan pemahaman tentang berbagai hal yang mendukung untuk merealisasikan alat pengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng. Beberapa hal yang mendukung perancangan dan pembuatan alat meliputi :

- 1) Beta karoten.
- 2) Metode spektrofotometri.
- 3) *Blue LED* dan Fototransistor.
- 4) Op. Amp. LM358N.
- 5) Mikrokontroler R8C/13.
- 6) LCD (*Liquid Crystal Display*).

2.1. Beta Karoten

Kata “karoten” berasal dari kata Latin yang berarti wortel (*carrot*), yaitu pigmen warna kuning dan oranye pada buah dan sayuran. Salah satu anggota senyawa karoten yang banyak dikenal adalah beta-karoten, yaitu senyawa yang akan dikonversikan menjadi vitamin A (retinol) oleh tubuh. Vitamin A itu sendiri adalah zat gizi yang penting untuk fungsi retina, dapat mencegah buta senja, mempercepat penyembuhan luka dan mempersingkat lamanya sakit campak.. Itu sebabnya, beta-karoten sering disebut pro-vitamin A (sumber vitamin A). Tubuh akan mengkonversikan beta-karoten menjadi vitamin A dalam jumlah secukupnya saja. Selebihnya akan tetap tersimpan sebagai beta-karoten. Sifat inilah yang menyebabkan beta-karoten berperan sebagai sumber vitamin A yang aman. Jadi, tidak seperti suplemen vitamin A yang bisa menyebabkan keracunan, jika diberikan secara berlebihan.

Beta karoten mempunyai manfaat sebagai anti oksidan yang menjaga kesehatan, menghambat proses penuaan serta memberi perlindungan pada tubuh terhadap pengaruh negatif dari radikal bebas. Radikal bebas adalah molekul-molekul tak stabil yang dihasilkan oleh berbagai proses kimia normal tubuh, radiasi matahari atau kosmis, asap rokok dan pengaruh lingkungan lainnya. Radikal bebas tersebut sangat berbahaya karena bisa merusak sel melalui proses oksidasi. Dan jika berlangsung lama, kerusakan itu dapat menyebabkan berbagai penyakit kronis, seperti penyakit jantung dan kanker.

Zat-zat gizi antioksidan, seperti beta karoten dapat menetralkan radikal bebas menjadi tidak berbahaya. Dengan mengkonsumsi beta karoten terbukti dapat menekan pertumbuhan tumor, mencegah timbulnya penyakit kanker, mencegah proses penuaan terlalu dini, dan meningkatkan respon imun. Hal tersebut disebabkan beta karoten mempunyai efek kemoterapi atau kemopreventif yaitu efek yang dapat meningkatkan respons imun tubuh, sehingga imunitas yang baik mampu menghancurkan sel tumor. Beta Karoten banyak terdapat dalam sayur-sayuran dan buah-buahan, seperti wortel, mangga, pepaya, dan bahkan juga dalam buah kelapa sawit (Febrian, 2009).

2.1.1. Uji Kadar Beta Karoten

Cara menguji kadar beta karoten yang terkandung dalam suatu sampel bahan pada dasarnya menggunakan prinsip kerja dengan sebagai berikut:

a. Alat dan Bahan :

- 1) Aseton dengan sejumlah Na_2SO_4 anhydrous, disaring dan ditambahkan beberapa potong seng berbentuk granular (10 mesh) kemudian didestilasi sehingga didapat aseton murni.
- 2) Heksana, titik didih $60 - 70^\circ\text{C}$
- 3) Adsorben : campuran Magnesium oksida + supercel 1 : 1

b. Prosedur Pengujian :

- 1) Sampel digiling sampai halus sehingga mampu melewati ayakan 40 mesh.
- 2) Mengekstrak pigmen-pigmen warna dari sampel dengan cara sebanyak 5 – 10 g sampel dicampur dengan 40 ml aseton dan 60 ml heksana dan diblender selama 5 menit. Kemudian residu diendapkan dan diambil ekstraknya.
- 3) Pigmen beta karoten dipisahkan dengan pigmen lainnya dengan menggunakan kolom adsorpsi Magnesium oksida – Supercell dengan cara memasukkan secara kontinyu 50 ml ekstrak larutan ke dalam kolom dengan menggunakan vakum. Sehingga beta karoten akan melewati kolom secara cepat sedangkan *band* (pita) xantofil, produk oksidasi karoten, dan klorofil akan teradsorpsi dalam kolom.
- 4) Pigmen beta karoten pada kolom adsorpsi yang terpisahkan dengan pigmen lainnya kemudian diukur adsorbansinya dengan menggunakan alat spektrofotometer dengan cahaya berpanjang gelombang 452 nm.
- 5) Setelah itu kadar beta karoten dapat diketahui dengan membandingkan besarnya nilai adsorbansi tersebut dengan kurva standar kadar beta karoten.

Kurva standar beta karoten tersebut diperoleh berdasarkan pengujian analisis terhadap sampel beta karoten murni, dan prosedur pembuatan kurva standar beta karoten tersebut adalah sebagai berikut :

a. Alat dan Bahan :

- 1) Beta karoten murni.
- 2) Larutan kloroform
- 3) Larutan petroleum eter.
- 4) Larutan aseton 3%.

b. Prosedur Pengujian :

- 1) Sebanyak 25 mg beta karoten murni ditimbang dengan teliti. Kemudian dilarutkan dalam 2.5 ml kloroform dan dibuat menjadi 250 ml dengan petroleum eter (1 ml = 0.1 mg atau 100 µg).
- 2) Larutan sebanyak 10 ml diencerkan menjadi 100 ml dengan petroleum eter (1 ml = 0.01 mg atau 10 µg).
- 3) Sebanyak 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, dan 3 ml larutan ini dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml yang terpisah. Masing-masing labu ukur diisi dengan 3 ml aseton.
- 4) Kemudian diencerkan sampai tanda tera dengan petroleum eter, sehingga konsentrasinya akan menjadi 0.1, 0.2, 0.3, dan 0.4 µg per ml.
- 5) Optikal density (OD) larutan ini diukur dengan spektrofotometer pada cahaya 452 nm dengan menggunakan aseton 3% dalam petroleum eter sebagai blanko.
- 6) Lalu dibuat grafik hubungan antara optical density dengan konsentrasi beta karoten.

2.1.2. Uji Kadar Beta Karoten Dalam Minyak Goreng

Berdasarkan beberapa sumber acuan, baik berupa informasi yang berasal dari produsen minyak goreng (tertera dalam komposisi kemasan), maupun yang berasal dari beberapa artikel penelitian, diketahui bahwa minyak goreng hasil produksi yang berasal dari bahan kelapa sawit hanya mengandung pigmen warna beta karoten saja. Sehingga dalam melakukan pengujian kadar beta karoten dalam minyak goreng tersebut tidak diperlukan proses pengekstrakan dan pemisahan pigmen beta karoten dari pigmen lainnya.

Dan cara kerja pengujian kadar beta karoten dalam minyak goreng dengan menggunakan metode konvensional adalah sebagai berikut :

- Sebanyak 100 ml minyak goreng ditempatkan dalam sebuah labu ukur 100 ml.
- Setelah itu diukur nilai adsorbansi minyak goreng tersebut dengan menggunakan alat spektrofotometer dengan cahaya berpanjang gelombang 452 nm.
- Konsentrasi beta karoten dalam sampel tersebut ditentukan dengan membandingkan nilai adsorbansinya terhadap kurva standar kadar beta karoten yang telah dibuat.

2.2. Metode Spektrofotometri

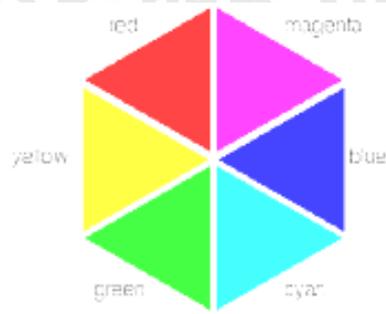
Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kadar beta karoten dalam suatu zat yaitu dengan menggunakan metode spektrofotometri. Spektrofotometri merupakan salah satu cabang analisis instrumental yang mempelajari interaksi antara atom atau molekul dengan radiasi elektromagnetik. Interaksi antara atom atau molekul dengan radiasi elektromagnetik tersebut dapat berupa hamburan (*scattering*), absorpsi (*absorption*), atau emisi (*emission*).

Interaksi spektrofotometri absorpsi merupakan interaksi suatu atom atau molekul yang akan menyerap suatu radiasi elektromagnetik berupa radiasi cahaya. Radiasi elektromagnetik itu dapat berupa sinar ultra violet (UV) yaitu radiasi dengan panjang gelombang 200-380 nm, sinar tampak merupakan radiasi dengan panjang gelombang 380-790 nm, atau sinar infra merah (IR) yaitu radiasi dengan panjang gelombang lebih besar dari 790 nm. Konfigurasi panjang gelombang, warna cahaya, dan warna komplementer spektrum cahaya tampak ditunjukkan dalam Tabel 2.1 dan Gambar 2.1.

Tabel 2.1. Warna dan spektrum cahaya

Daerah warna	panjang gelombang (nm)
Ungu	380 - 435
Biru	435 - 500
sian (biru-pucat)	500 - 520
Hijau	520 - 565
Kuning	565 - 590
Oranye	590 - 625
Merah	625 - 740

Sumber : Clark, 2007.



Gambar 2.1. Warna-warna komplementer.

Sumber : Clark, 2007.

Dalam Tabel 2.1. dapat diketahui bahwa untuk tiap-tiap cahaya yang berwarna dalam spektrum cahaya tampak memiliki jangkauan panjang gelombang tertentu, sebagai contoh apabila suatu cahaya berwarna biru maka panjang gelombang cahaya tersebut berada pada kisaran antara 435 – 500 nm. Sedangkan dalam Gambar 2.1., warna-warna yang saling berlawanan satu sama lain dalam roda warna tersebut dikatakan sebagai warna-warna komplementer. Biru dan kuning adalah warna komplementer, merah dan sian adalah komplementer, demikian juga hijau dan magenta (merah muda). Sedangkan pencampuran dua warna komplementer tersebut akan menghasilkan cahaya berwarna putih (Clark, 2007).

Pada metode spektrofotometri absorpsi, panjang gelombang yang dipakai dalam suatu analisis dipilih sedemikian rupa sehingga zat yang dianalisis akan mengabsorpsi radiasi secara maksimal pada cahaya dengan panjang gelombang tersebut, dan sedapat mungkin tidak dipengaruhi oleh kemungkinan adanya zat pengganggu ataupun adanya variasi dalam prosedurnya. Bila zat yang dianalisis berwarna, maka warna komplementernya merupakan petunjuk untuk panjang gelombang yang akan digunakan. Hal ini dikarenakan bahwa spektrofotometri absorpsi akan mengalami interaksi penyerapan radiasi elektromagnetik yang maksimal apabila suatu zat yang akan dianalisis tersebut dikenai dengan cahaya tampak yang warnanya merupakan komplementer dari warna yang dipancarkan oleh zat tersebut (Clark, 2007).

Warna yang dilihat pada beta karoten yaitu kuning kemerahan. Beta karoten akan menyerap dengan maksimal cahaya yang merupakan warna komplementer dari warna yang ditampakkannya, dan warna komplementer beta karoten tersebut adalah cahaya berwarna biru ke sian antara panjang gelombang 400 dan 500 nm. Hal tersebut diperkuat oleh sebuah penelitian yang menyatakan bahwa beta karoten mengalami puncak penyerapan pada panjang gelombang 470 nm (Clark, 2007).

2.3. Blue LED dan Fototransistor

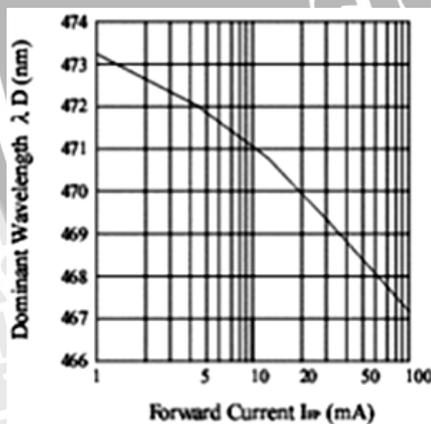
2.3.1. Blue LED

Sumber cahaya berguna untuk memberikan radiasi cahaya dengan rentang panjang gelombang tertentu terhadap media yang akan diukur. Hal ini dilakukan agar media tersebut memberikan interaksi yang optimal terhadap radiasi cahaya yang dipancarkan tersebut. Dan pada perancangan alat ini sumber cahaya yang digunakan adalah sebuah LED yang memiliki intensitas cahaya yang cukup tinggi dan memancarkan cahaya yang sama dengan spektrum warna komplementer dari beta karoten yaitu cahaya berwarna biru dengan panjang gelombang 470 nm. Sehingga LED yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah *Super Bright Blue LED* tipe WW05A3SBI4-N yang memancarkan cahaya biru. Karakteristik *Super Bright Blue LED* tipe WW05A3SBI4-N ditunjukkan dalam Tabel 2.2, Grafik 2.1, dan Grafik 2.2.

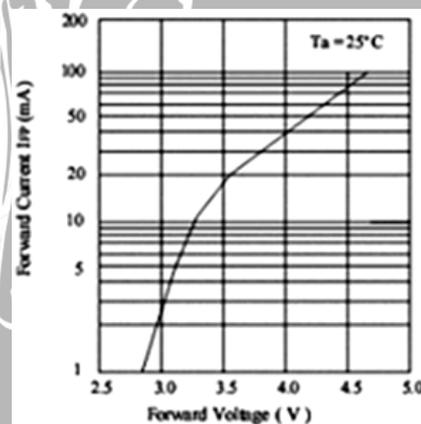
Tabel 2.2. Karakteristik *Blue LED* tipe WW05A3SBI4-N

Electrical Optical Characteristics at Ta=25°C												
Part Number	Lens color	Source Color	Dominant Wavelength λ_d / nm $I_f = 20\text{mA}$ (Note 8)			Luminous Intensity I_v / mcd $I_f = 20\text{mA}$ (Note 5)			Forward Voltage / V $I_f = 20\text{mA}$			Viewing Angle / Deg (Note 6)
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
WW05A3SBI4-N	Water Clear	Blue	465	---	475	3700	4900	---	---	3.2	4.0	15°
Reverse Voltage = 5V						Reverse Current = 50 μ A						

Sumber : Wah Wang Optoelectronic, 2006 : 2.



Gambar 2.2. Grafik I_F terhadap λ dominan *Blue LED*



Gambar 2.3. Grafik V_F terhadap I_F *Blue LED*

Sumber : Wah Wang Optoelectronic, 2006 : 3.

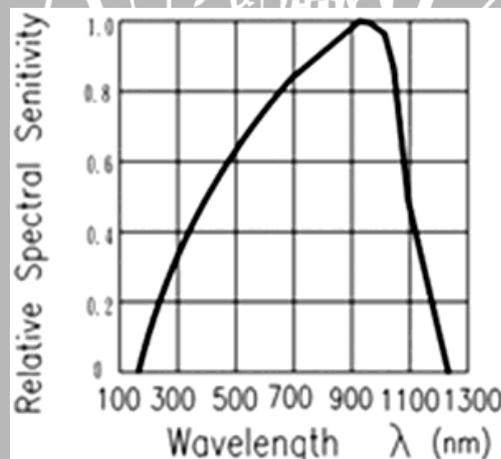
Berdasarkan karakteristik *Super Bright Blue LED* tipe WW05A3SBI4-N yang dijelaskan dalam Tabel 2.2 serta Gambar 2.2 dan Gambar 2.3. dapat diketahui bahwa untuk menghasilkan cahaya berwarna biru dengan panjang gelombang 470 nm, *Super Bright Blue LED* tipe WW05A3SBI4-N ini perlu di-supply dengan arus maju sebesar 20 mA dan diharapkan akan menghasilkan tegangan maju pada LED sebesar $\pm 3,6$ V.

2.3.2. Fototransistor

Sensor cahaya berfungsi untuk mengubah radiasi cahaya yang diterima menjadi besaran listrik berupa arus listrik. Dalam sistem perancangan ini radiasi yang dimaksud berupa cahaya yang diteruskan atau ditransmisikan oleh media yang dilaluinya yaitu beta karoten dalam minyak goreng. Karena dalam sistem ini menggunakan metode spektrofotometri absorpsi maka besarnya kadar beta karoten dapat diketahui dengan mengukur besarnya intensitas cahaya yang diteruskan tersebut. Semakin kecil intensitas cahaya yang diteruskan maka semakin besar nilai kadar beta karotennya.

Dalam perancangan alat ini sensor cahaya yang digunakan adalah fototransistor. Alasan pemilihan fototransistor sebagai sensor cahaya dalam perancangan alat ini dikarenakan fototransistor adalah salah satu sensor cahaya yang cukup peka terhadap cahaya berwarna biru dibandingkan dengan sensor cahaya jenis lainnya, selain itu juga karena fototransistor memiliki harga yang relatif terjangkau.

Fototransistor yang digunakan dalam perancangan ini adalah fototransistor tipe PT333-3C. Fototransistor PT333-3C merupakan fototransistor jenis NPN dengan berdiameter 5 mm yang dikemas menyerupai bentuk LED. Selain itu PT333-3C juga sangat peka terhadap radiasi cahaya tampak dan sinar infra merah. Karakteristik sensitivitas relatif fototransistor tipe PT333-3C ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Grafik λ terhadap sensitivitas relatif Fototransistor
Sumber : He, 2005 : 4.

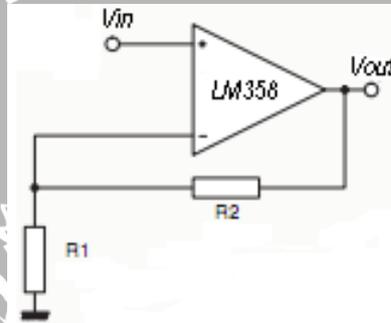
Dalam Gambar 2.4. dapat diketahui bahwa sensitivitas fototransistor PT333-3C terhadap cahaya biru dengan panjang gelombang 470 nm adalah sekitar 0,5 kali dari sensitivitas puncaknya.

2.4. Op. Amp. LM358N

LM358N adalah dual Op Amp dengan *input supply* dalam satu IC. Beberapa keunggulan dari LM358N adalah :

- 1) Dapat beroperasi dengan tegangan *single supply* ataupun *dual supply*.
- 2) Arus *supply* yang kecil (500 μ A).
- 3) Range tegangan output antara 0 sampai $V_{cc} - 1,5$ V.
- 4) Arus bias input yang kecil (20 nA).
- 5) Arus dan tegangan offset input kecil (2 nA dan 2 mV).

Karena kelebihan tersebut di atas, maka dalam perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal (RPS) pada alat ini digunakan LM358N sebagai komponen aktif pada suatu rangkaian penguat *non inverting*, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Rangkaian Penguat *Non Inverting*.
Sumber : ST Microelectronics, 2005 : 10.

Dari rangkaian penguat non inverting dalam Gambar 2.5., nilai V_{out} dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \quad (2.1)$$

Dengan : V_{out} = tegangan output RPS (Volt)

V_{in} = tegangan input RPS (Volt)

R_1 dan R_2 = nilai resistor 1 dan resistor 2 (Ω)

2.5. Mikrokontroler R8C/13

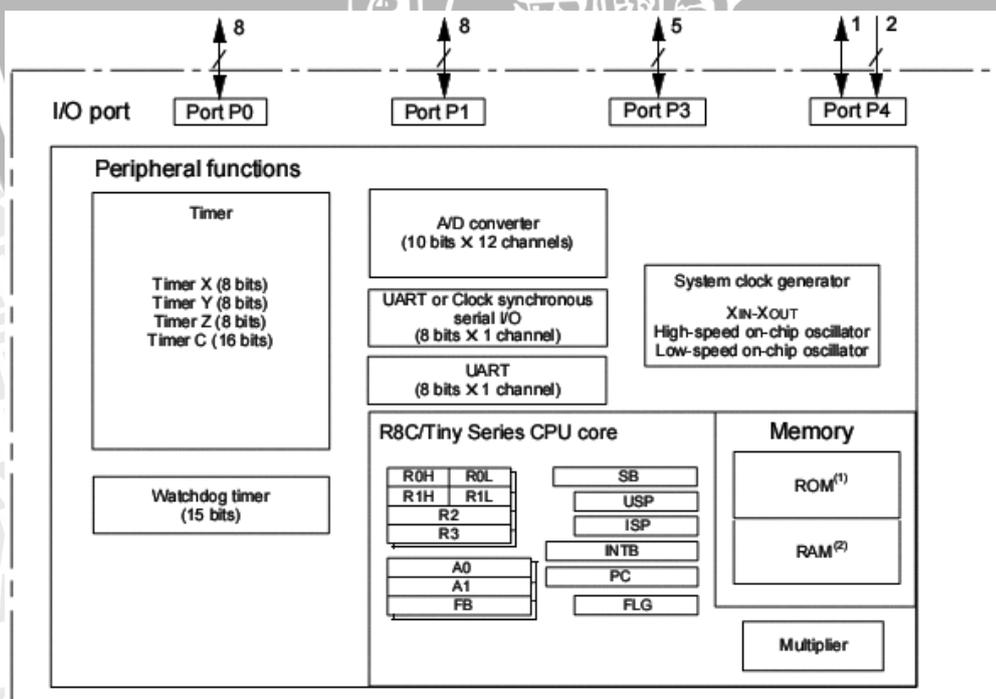
Keluarga Mikrokontroler R8C/13 adalah mikrokontroler 16 bit yang diproduksi oleh Renesas Technology, Inc. Mikrokontroler R8C/13 dibuat dengan proses silikon gate CMOS dengan performansi tinggi dan diproduksi dalam kemasan LQFP 32 kaki. Mikrokontroler R8C/13 memiliki instruktur bahasa assembly yang mampu memproses data berukuran 16 bit. Selain itu, Mikrokontroler R8C/13 memiliki data flash (pengganti EEPROM) internal sebesar 2 kB \times 2 blok dan juga menggunakan pengalamatan berukuran 20 bit, sehingga mampu mengalami *address space* sebanyak 1 Mega byte.

Dalam perancangan alat ini Mikrokontroler R8C/13 yang digunakan adalah tipe R5F21134FP yang memiliki suhu operasi antara $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, ROM internal sebesar 16 kbyte, dan RAM internal sebesar 1 kbyte (Eryanto, 2007).

Mikrokontroler R8C/13 memiliki fitur – fitur sebagai berikut :

- Memiliki 11 faktor interrupt internal, 5 faktor interrupt eksternal, dan 4 faktor software interrupt, yang semuanya dapat diatur dalam 7 level prioritas.
- Memiliki sebuah watchdog timer 15 bit dengan fungsi reset yang dapat diatur.
- Memiliki 3 buah timer 8 bit dengan prescaler dan sebuah timer 16 bit tanpa prescaler.
- Memiliki 1 channel antarmuka serial dengan mode UART dan mode Synchronous, dan 1 channel lagi dengan mode UART saja.
- Memiliki sebuah ADC internal dengan resolusi 10 bit dengan masukan 12 channel.
- Memiliki Oscillation Stop Detection Function. Merupakan interrupt yang dieksekusi saat main clock berhenti beresilasi.
- Memiliki rangkaian Voltage Detection dan Power On Reset.
- Memiliki 22 pin Input/Output, di mana 8 diantaranya dapat digunakan sebagai driver LED, dan 2 buah pin lain yang hanya berfungsi pada mode input saja.

Blok diagram Mikrokontroler R8C/13 ditunjukkan dalam Gambar 2.6., dan konfigurasi pin – pin pada Mikrokontroler R8C/13 ditunjukkan dalam Gambar 2.7.

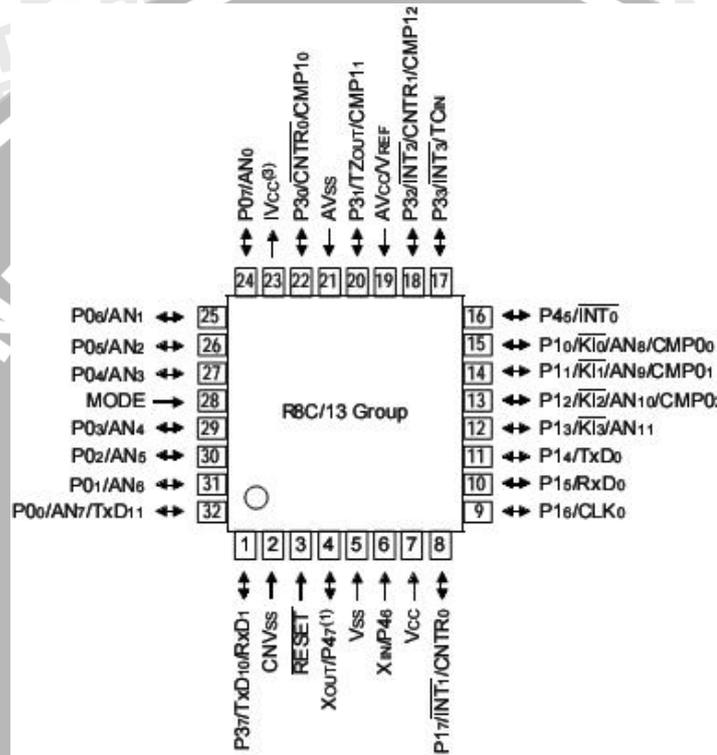


Gambar 2.6. Blok Diagram Mikrokontroler R8C/13.

Sumber : Renesas, 2005 : 3.

Fungsi pin-pin Mikrokontroler R8C/13 yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7. adalah :

- V_{cc} dan V_{ss} , merupakan saluran masukan power supply dengan tegangan masukan berkisar antara 2,7 - 5,5 Volt untuk V_{cc} , dan tegangan masukan 0 Volt untuk V_{ss} .
- I_{Vcc} , merupakan saluran keluaran untuk menstabilkan power supply internal. Dalam aplikasi pin I_{Vcc} dihubungkan dengan kapasitor 0.1 μF .
- AV_{cc} dan AV_{ss} , merupakan saluran masukan power supply untuk ADC internal. Dalam aplikasi AV_{cc} dihubungkan dengan V_{cc} dan AV_{ss} dihubungkan dengan V_{ss} .



Gambar 2.7. Konfigurasi Pin Mikrokontroler R8C/13.

Sumber : Renesas, 2005 : 5.

- *Reset Input*, merupakan saluran masukan untuk mereset mikrokontroler, dan pin ini aktif pada logika rendah (*LOW*).
- *CNVss*, merupakan saluran masukan yang berfungsi untuk mengurangi pengaruh noise pada power supply internal. Dalam aplikasi pin *CNVss* dihubungkan dengan V_{ss} melalui sebuah resistor.
- *MODE*, merupakan saluran masukan yang berfungsi untuk mengeset mode operasi mikrokontroler. Mikrokontroler akan berada pada mode pemrograman apabila diberi logika *LOW* dan mode operasi normal jika diberi logika *HIGH*.
- *Main clock input (Xin) dan output (Xout)*, merupakan pin yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal clock utama pada rangkaian I/O. Dengan cara menghubungkan cristal oscillator diantara pin Xout dan Xin.

- *INT interrupt input* (INT_0 dan INT_3), merupakan pin masukan untuk *interrupt*.
- *Key input interrupt* ($\overline{KI_0}$ dan $\overline{KI_3}$), merupakan pin kunci masukan untuk *interrupt*.
- *Timer X* ($CNTR_0$), merupakan pin I/O untuk timer X.
- *Timer X* ($\overline{CNTR_0}$), merupakan pin output untuk timer X.
- *Timer Y* ($CNTR_1$), merupakan pin I/O untuk timer Y.
- *Timer X* ($TZout$), merupakan pin output untuk timer Z.
- *Timer C* ($TCin$), merupakan pin input untuk timer C.
- *Timer C* (CMP_0 0 to 3, CMP_1 1 to 2), merupakan pin output untuk timer C
- *Serial interface* (CLK_0), merupakan pin I/O untuk transfer clock.
- *Serial interface* (RxD_0 dan 1), merupakan pin input untuk data serial.
- *Serial interface* ($TxD_0, 10$ dan 11), merupakan pin output untuk data serial.
- *Reference voltage input* ($Vref$), merupakan pin input tegangan referensi untuk ADC internal. Dalam aplikasi $Vref$ dihubungkan dengan Vcc .
- *A/D Converter* (AN_0 to 11), merupakan pin masukan analog untuk ADC internal.
- *I/O port* (P_0 0 to 7, P_1 0 to 7, P_3 0 to 3, P_37 , dan P_45), merupakan port I/O 8 bit CMOS. Pin P_1 0 to 7 juga berfungsi sebagai *LED drive*.
- *Input port* (P_46 dan P_47), merupakan pin yang berfungsi sebagai port masukan saja.

Agar tidak merusak IC, Renesas merekomendasikan arus total yang diserap atau dihasilkan seluruh port maksimal sebesar 60 mA. Sedangkan kemampuan maksimal dari tiap-tiap pin untuk menghasilkan atau menyerap arus adalah sebesar 10 mA, akan tetapi khusus untuk pin-pin pada port 1 yang bisa ditingkatkan sampai 30 mA.

2.5.1. Clock CPU

Mikrokontroler R8C/13 memiliki 2 buah *clock* internal, yaitu clock internal frekuensi rendah (125 kHz) dan frekuensi tinggi (8 Mhz). Clock internal frekuensi tinggi bersumber pada clock internal frekuensi rendah, sehingga clock frekuensi rendah umumnya tidak pernah dimatikan. Pada kondisi awal setelah reset, mikrokontroler menggunakan clock internal frekuensi rendah dengan faktor pembagi frekuensi 8 sehingga mikrokontroler beroperasi pada frekuensi 16 kHz. Selain itu Mikrokontroler R8C/13 juga memiliki sumber clock eksternal yang dapat di-*setting* melalui pemberian cristal osilator yang dihubungkan pada pin X_{out} dan X_{in} . Frekuensi maksimum dari clock eksternal tersebut adalah sebesar 20 Mhz (Sulistiyanto, 2008).

2.5.2. Interupsi dalam Mikrokontroler R8C/13

Mikrokontroler R8C/13 memiliki 2 jenis interupsi, yaitu interupsi perangkat lunak dan interupsi perangkat keras. Interupsi perangkat keras diaktifkan langsung melalui program, sedangkan interupsi perangkat lunak diaktifkan oleh perangkat lunak ataupun program. Dalam perancangan alat ini digunakan beberapa interupsi perangkat keras yang akan diaktifkan melalui program.

Level interupsi perangkat keras berkisar antara 0 sampai 7. Level 0 menyebabkan interupsi menjadi tidak aktif. Semakin tinggi level interupsi maka semakin tinggi prioritas yang dimiliki. Sehingga apabila terjadi beberapa permintaan layanan interupsi secara bersamaan maka interupsi yang memiliki level paling tinggi akan dieksekusi terlebih dahulu (Sulistiyanto, 2008). Nama-nama interupsi perangkat keras dalam mikrokontroler R8C/13 ditunjukkan dalam Tabel. 2.3.

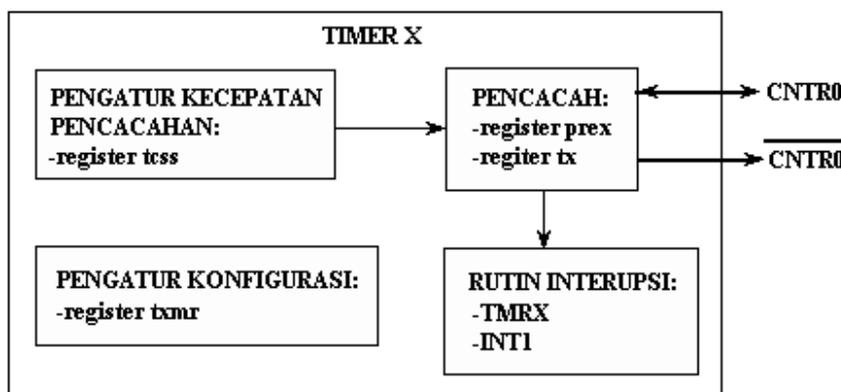
Tabel 2.3. Interupsi Perangkat Keras

No.	Interupsi	Keterangan
1	CMP0	Register tc = tm0 pada Timer C
2	INT3	Permintaan interupsi pada pin INT3
3	TMRZ	Pencacah Timer Z underflow
4	TMRX	Pencacah Timer X underflow
5	INT0	Permintaan interupsi pada pin INT0
6	TMRC	Pencacah Timer C underflow
7	INT1	Permintaan interupsi pada pin INT1
8	TMR Y	Pencacah Timer Y underflow
9	U1RX	UART1 telah lengkap menerima data terakhir
10	U0RX	UART0 telah lengkap menerima data terakhir
11	CMP1	Register tc = tm1 pada Timer C
12	ADC	Konversi data ADC telah selesai
13	INT2	Permintaan interupsi pada pin INT2
14	U1TX	UART1 telah lengkap mengirim data terakhir
15	U0TX	UART0 telah lengkap mengirim data terakhir
16	KI	Permintaan interupsi pada pin KI0, KI1, KI2, atau KI3

Sumber : Sulistiyanto, 2008 : 58.

2.5.3. Timer X

Struktur *Timer X* dalam Mikrokontroler R8C/13 diilustrasikan dalam Gambar 2.8. Unit pencacah berfungsi untuk melakukan pencacahan mundur pada pasangan register prex dan tx. Kecepatan pencacahan unit ini tergantung pada unit clock yang dapat disetting melalui register tess (Sulistiyanto, 2008).



Gambar 2.8. Struktur Timer X.
 Sumber : Sulistiyanto, 2008 : 81.

2.5.3.1. Mode Pengukur Selang Waktu

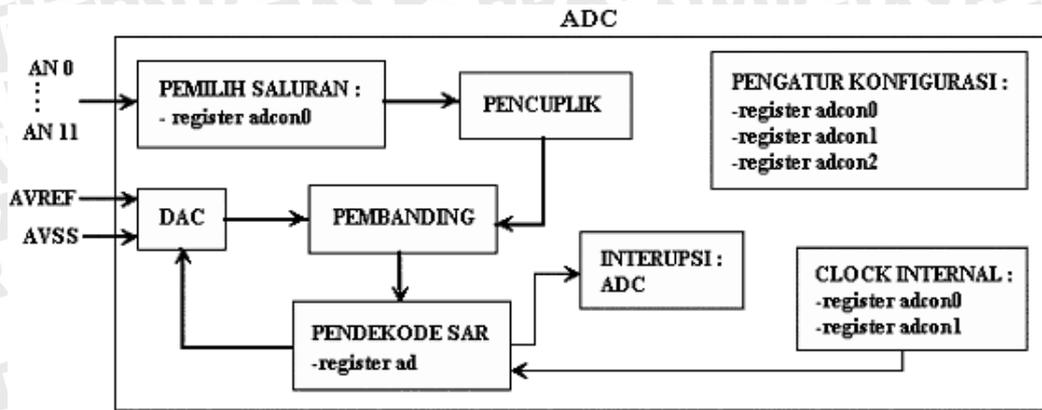
Dalam mode pengukur selang waktu, *Timer X* mencacah mundur isi register prex dan tx. Kecepatan pencacahan tersebut ditentukan oleh frekuensi operasi *timer*. Ketika terjadi kondisi *underflow* dalam pencacahan tersebut, *Timer X* akan meminta layanan interupsi TMRX. Kondisi ini terjadi secara periodik dan nilai frekuensi *underflow* ($f_{UNDERFLOW}$) dapat ditentukan melalui persamaan :

$$f_{UNDERFLOW} = \frac{f_{TIMER}}{(prex + 1)(tx + 1)} \quad (2.3)$$

Dari Persamaan 2.3, frekuensi *underflow* ditentukan berdasarkan nilai frekuensi timer (f_{TIMER}), serta nilai register prex dan tx. Mode pengukur selang waktu ini dapat diimplementasikan dalam bentuk perulangan atau interupsi (Sulistiyanto, 2008).

2.5.4. Analog to Digital Converter (ADC)

Mikrokontroler R8C/13 memiliki 1 buah ADC internal yang memiliki 11 kanal masukan AN0 – AN11, dimana dalam satu waktu ADC hanya bisa melayani satu kanal masukan. ADC ini juga dapat dioperasikan dengan mode kontinyu atau tak kontinyu. Pada mode operasi kontinyu ADC hanya dapat beroperasi dengan resolusi 8 bit, sedangkan pada mode tak kontinyu ADC dapat beroperasi pada mode 8 bit atau 10 bit. Struktur ADC internal dalam Mikrokontroler R8C/13 diilustrasikan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Struktur ADC Mikrokontroler R8C/13.

Sumber : Sulistiyanto, 2008 : 156.

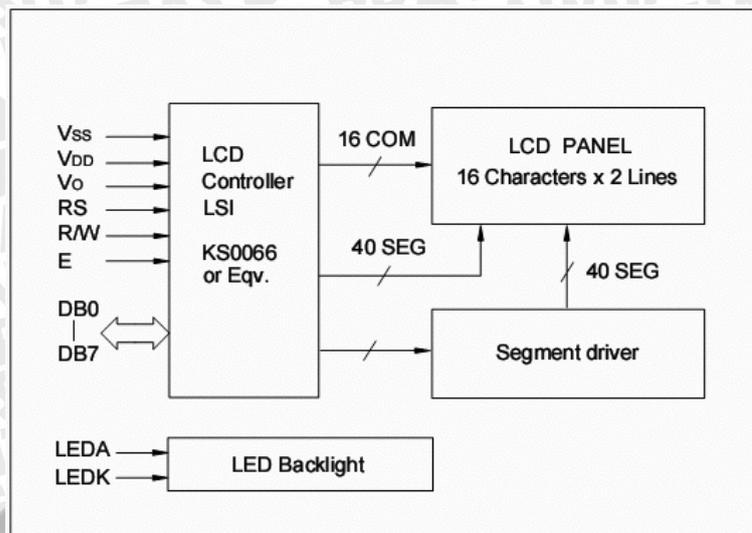
Bagian utama ADC tersebut adalah unit pendekode SAR (*Successive Approximation Register*). Unit ini menghasilkan kode-kode taksiran berdasarkan metode *binary searching*. Untuk mendapatkan hasil taksiran yang lebih akurat, setiap kode taksiran dibandingkan dengan sinyal input dengan menggunakan DAC dan pembanding. Proses ini diulang beberapa kali sampai diperoleh hasil taksiran yang terbaik. Kode hasil pengonversian tersimpan dalam register ad. Setiap kali selesai proses konversi, unit pendekode SAR akan meminta layanan interupsi ADC. Untuk penyetingan ADC dapat kita lakukan melalui register adcon0, adcon1, dan adcon2.

Pada perancangan alat ini kita menggunakan ADC mode tak kontinyu, dikarenakan resolusi pengonversian yang dipilih adalah 10 bit. Dalam mode ini, setiap selesai melakukan proses pengonversian, ADC akan meminta layanan interupsi ADC. Sehingga kita perlu menyeting aktif kembali proses pengkonversian ADC secara berulang-ulang. Pemanggilan makro pengaktifan proses konversi dapat dilakukan melalui rutin interupsi TMRX, TMRY, atau TMRZ sehingga didapatkan proses konversi yang kontinyu (Sulistiyanto, 2008).

2.6. *Liquid Crystal Display (LCD)*

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menampilkan karakter baik berupa karakter angka, huruf atau karakter lainnya, sehingga tampilan tersebut dapat dilihat secara visual.

Pada perancangan sistem ini memakai LCD modul LMB162A yang merupakan sebuah modul LCD dot matrik yang membutuhkan daya kecil. LCD modul LMB162A dilengkapi panel LCD dengan tingkat kontras yang cukup tinggi serta pengendali LCD CMOS yang telah terpasang dalam modul tersebut. Blok diagram LCD modul LMB162A ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Blok Diagram LCD LMB162A.

Sumber : Topway, 2006 : 2.

Dalam Gambar 2.10. *LCD Controller* merupakan unit utama LCD yang berfungsi sebagai pengendali sistem kerja LCD. Dalam blok ini terdapat pin-pin masukan yang menghubungkan LCD dengan perangkat lain. *LCD Panel* merupakan blok LCD yang berfungsi untuk menampilkan karakter dalam bentuk huruf, angka, atau simbol-simbol lainnya. *Segment driver* adalah unit yang berfungsi mengatur tampilan 40 segment agar dapat menampilkan suatu karakter yang diinginkan. *LED Backlight* merupakan unit yang memberikan pencahayaan pada tampilan *backlight* LCD. LCD modul LMB162A mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

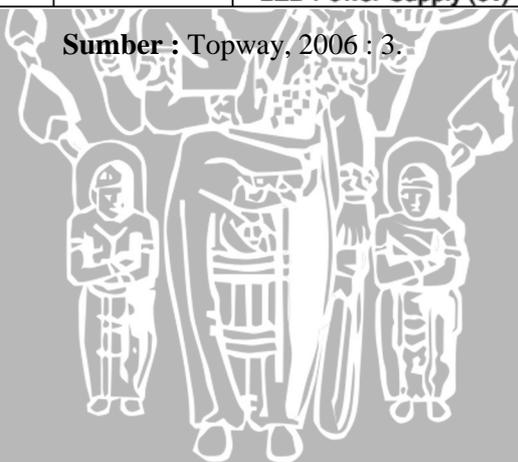
- Memiliki 16 karakter dan 2 baris tampilan yang terdiri dari 5×7 dot matrik ditambah dengan kursor.
- Memerlukan catu daya +5 volt.
- Otomatis reset saat catu daya dinyalakan.
- Display data RAM (max 80 karakter) 80×8.

Dalam perancangan alat ini, LCD dioperasikan dalam komunikasi 4 bit data yaitu DB4-DB7. Dengan demikian hanya pin data DB4-DB7 saja yang dihubungkan dengan mikrokontroler. Untuk mengakses LCD 2×16 kita harus mengkonfigurasi pin dari LCD dengan pin I/O Mikrokontroler R8C/13. Konfigurasi nama pin LCD dan fungsinya ditunjukkan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Konfigurasi Pin LCD dan Fungsinya.

Pin No.	Symbol	Level	Function
1	VSS	-	Ground
2	VDD	-	Power Supply for Logic (+5V)
3	Vo	-	Power Supply for LCD
4	RS	H/L	Register Selection H: Display Data L: Instruction Code
5	R/W	H/L	Read/Write Selection H: Read Operation L: Write Operation
6	E	H, H→L	Enable Signal. Read data when E is "H", write data at the falling edge of E.
7	DB0	H/L	In 8-bit mode, used as low order bi-directional data bus. In 4-bit mode, open these terminals.
8	DB1	H/L	
9	DB2	H/L	
10	DB3	H/L	
11	DB4	H/L	In 8-bit mode, used as high order bi-directional data bus.
12	DB5	H/L	
13	DB6	H/L	In 4-bit mode, used as both high and low order data bus.
14	DB7	H/L	
15	LEDA	--	LED Power Supply (+5V)
16	LEDK	--	LED Power Supply (0v)

Sumber : Topway, 2006 : 3.



BAB III METODOLOGI

Dalam proses perancangan, pembuatan, dan pengujian alat, serta analisis data terdapat beberapa metode yang dilakukan. Selain metode-metode tersebut, diperlukan juga informasi-informasi lain yang tidak secara langsung berkaitan dengan proses-proses tersebut.

3.1. Metode Dalam Perancangan dan Pembuatan Alat

Dalam perancangan perangkat keras alat pengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini digunakan metode pendekatan moduler, yaitu pendekatan yang menitik beratkan pada kesamaan fungsi atau prinsip kerja unit-unit alat ini dengan unit-unit pada alat-alat lainnya. Seperti halnya dalam merancang sistem sensor untuk spektrofotometri, minimum sistem dan sistem antarmuka Mikrokontroler R8C/13 dengan bagian sistem lainnya, ataupun sistem dalam pengolahan datanya. Dalam perancangan PCB digunakan *software* Eagle-4.11, yang kemudian dicetak pada suatu board PCB.

Sedangkan dalam perancangan listing program mikrokontroler untuk mengatur sistem kerja dari alat ini digunakan struktur Bahasa C yang diolah melalui program developer berbasis Windows bernama HEW (*High-performance Embedded Workshop*). Untuk mendownload listing program tersebut ke dalam Mikrokontroler R8C/13 digunakan program *SessionFoUSB_UART Debugger* yang terdapat dalam program HEW.

3.2. Metode Dalam Pengujian Alat dan Analisis Data

Untuk metode pengujian alat, digunakan beberapa metode, antara lain dengan simulasi menggunakan program *SessionMI6C_R8C_Simulator* yang terdapat dalam program HEW untuk menguji sistem Mikrokontroler R8C/13 dan sistem antarmukanya dengan blok sistem yang lain. Selain itu juga dilakukan pengujian pada tiap-tiap blok serta pengujian reliabilitas atau pengujian secara terus-menerus untuk mengetahui apakah sistem sudah dapat bekerja sesuai yang diharapkan atau pun untuk mempermudah melacak apabila terjadi kesalahan dalam sistem. Pengujian Sistem secara keseluruhan akan dilakukan apabila tiap-tiap blok sistem sudah dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Dalam pengujian alat ini beberapa alat pendukung yang digunakan

antara lain Multimeter Digital merk Winner tipe M-890C dan komputer Pentium III 700 MHz 128MB.

Dalam menganalisis data, digunakan pendekatan statistik berupa pendekatan secara regresi terhadap beberapa data yang diukur dalam kondisi yang sama akan tetapi dengan nilai kadar beta karoten yang diasumsikan berbeda. Sehingga melalui pendekatan regresi ini akan diperoleh suatu grafik yang menunjukkan linieritas sistem. Selain itu data nilai-nilai ekstrim yang didapatkan dari hasil pengujian juga diperlukan untuk mengetahui unjuk kerja sistem. Diperlukan juga beberapa hasil analisis data untuk data-data hasil pengukuran yang diambil dalam kondisi dan waktu yang berbeda dengan kadar beta karoten yang diasumsikan sama agar dapat diketahui keakurasian dari sistem alat pengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini.



BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM

Dalam perancangan agar proses perancangan dan pembuatan alat dapat berjalan dengan sistematis, maka perlu ditetapkan langkah-langkah yang akan diambil. Langkah-langkah tersebut meliputi penentuan spesifikasi alat, studi literatur, perencanaan alat, perealisasiian alat.

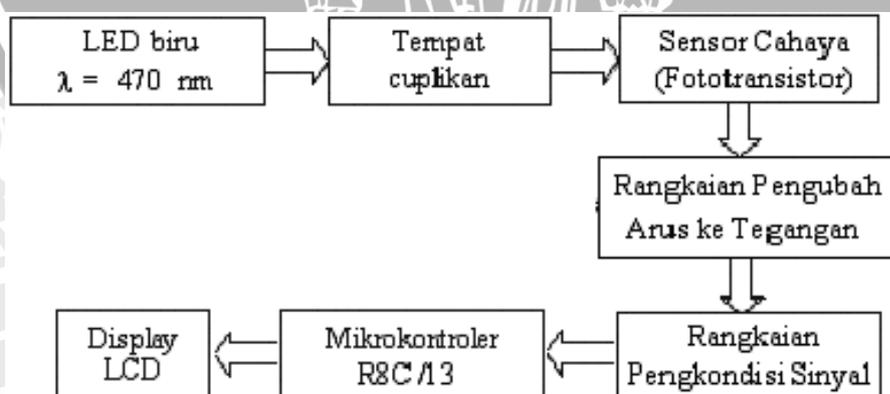
4.1. Penentuan Spesifikasi Alat

Sebelum melakukan perencanaan alat yang akan dibuat, maka ditentukan spesifikasi alat yang akan dirancang terlebih dahulu. Beberapa spesifikasi alat yang akan dirancang adalah sebagai berikut:

- Alat ini menggunakan metode spektrofotometri dalam metode pengukurannya.
- LED bercahaya biru dengan panjang gelombang antara 470 nm digunakan sebagai sumber cahaya dan fototransistor digunakan sebagai sensor cahaya.
- Volume sampel minyak goreng yang diukur adalah sebanyak ± 20 ml.
- Mikrokontroler Renesas R8C/13 berfungsi sebagai pengontrol utama sistem.
- LCD sebagai penampil keluaran kadar beta karoten dalam minyak goreng.

4.2. Gambaran Keseluruhan Sistem

Agar perancangan dan perealisasiian alat berjalan secara sistematis maka perlu dirancang diagram blok yang menjelaskan sistem yang dirancang secara garis besar. Blok diagram sistem ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Blok Diagram Sistem

Fungsi masing-masing blok diagram:

- 1) LED biru $\lambda = 470 \text{ nm}$: digunakan sebagai sumber cahaya yang akan ditembakkan pada sampel minyak goreng.
- 2) Tempat cuplikan : digunakan untuk tempat meletakkan sampel minyak goreng yang akan diukur.
- 3) Sensor cahaya (fototransistor): digunakan untuk mendeteksi besarnya intensitas cahaya yang diteruskan oleh sampel minyak goreng.
- 4) Pengubah Arus ke Tegangan : mengubah sinyal output fototransistor yang berupa arus listrik menjadi tegangan.
- 5) Pengkondisi Sinyal : menstabilkan dan menguatkan sinyal tegangan yang dihasilkan oleh sensor agar sesuai dengan tegangan masukan yang diizinkan untuk ADC mikrokontroler.
- 6) Mikrokontroler R8C/13 : digunakan sebagai piranti ADC dan pusat sistem kontrol untuk memproses data digital.
- 7) *Liquid Cristal Display* : menampilkan data berupa kadar beta karoten dalam minyak goreng dengan satuan $\mu\text{g}/20\text{ml}$.

4.3. Prinsip Kerja Alat Ukur Kadar Beta Karoten Dalam Minyak Goreng

Alat ukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini menggunakan metode spektrofotometri absorpsi dalam pengoperasiannya. Cahaya biru dengan panjang gelombang 470 nm bersumber dari sebuah LED dimanfaatkan sebagai gelombang radiasi yang akan dipancarkan pada sampel minyak goreng. Pada sisi yang berlawanan arah dengan arah cahaya biru tersebut, terdapat sebuah fototransistor yang berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya yang diteruskan oleh minyak goreng.

Besarnya intensitas cahaya yang diteruskan menunjukkan besarnya kadar beta karoten yang terkandung dalam minyak goreng. Semakin tinggi kadar beta karoten yang terkandung maka semakin besar intensitas cahaya yang diabsorpsi sehingga akan semakin kecil cahaya yang akan ditransmisikan, begitu pula dengan sebaliknya. Selanjutnya besarnya intensitas cahaya yang ditransmisikan tersebut akan diubah oleh fototransistor menjadi suatu besaran arus listrik. Oleh rangkaian pengubah arus ke tegangan, arus listrik tersebut diubah menjadi tegangan. Tegangan yang dihasilkan itu akan dikondisikan oleh Rangkaian Pengkondisi Sinyal agar sesuai dengan besarnya tegangan yang ditentukan untuk masukan ADC Mikrokontroler R8C/13.

Melalui ADC internal Mikrokontroler R8C/13, tegangan analog hasil pengukuran tersebut akan diubah menjadi data digital. Data digital tersebut selanjutnya akan diolah oleh Mikrokontroler R8C/13 agar menjadi suatu data yang dapat menginformasikan kadar beta karoten yang terkandung dalam suatu sampel minyak goreng dan dapat ditampilkan pada layar LCD.

4.4. Perancangan Perangkat Keras

4.4.1. Perancangan Sensor Fotometri

Agar menghasilkan interaksi spektrofotometri yang maksimal maka panjang gelombang cahaya biru yang dihasilkan oleh LED sekitar 470 nm. Untuk merealisasikan hal tersebut berdasarkan data petunjuk dalam data sheet LED, LED tersebut harus dialiri arus sebesar ± 20 mA agar dapat menghasilkan cahaya dengan panjang gelombang 470 nm. Nilai R_1 dapat diperoleh melalui persamaan :

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_{LED}} \quad (4.1)$$

Dengan : R_1 = nilai resistansi resistor 1

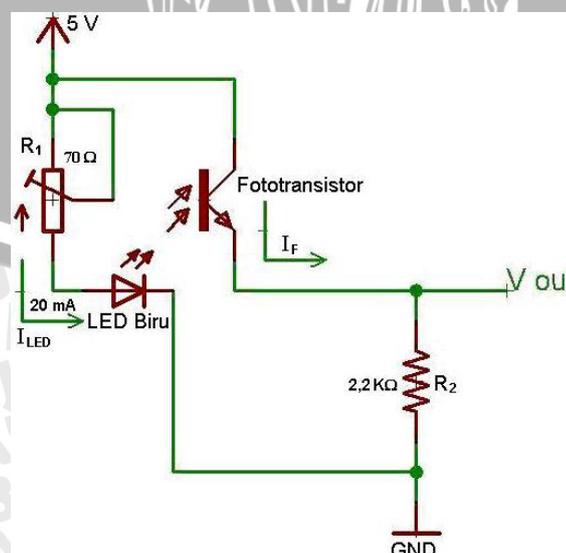
V_{CC} = tegangan supply

V_{LED} = tegangan LED saat memancarkan cahaya 470 nm = 3,6 Volt

I_{LED} = arus LED saat memancarkan cahaya 470 nm = 20 mA

Maka : $R_1 = \frac{5 - 3,6}{0,02} = 70\Omega$

Melalui persamaan 4.1. diperoleh nilai R_1 sebesar 70Ω . Dengan menggunakan sebuah resistor variabel (R_1) sebesar 70Ω yang disusun seri dengan LED seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.2 maka akan mengalir arus LED sebesar 20 mA.



Gambar 4.2. Rangkaian Sensor Fotometri.

Pada bagian sensor cahaya, fototransistor akan mengubah cahaya yang ditangkapnya menjadi besaran arus listrik. Semakin besar intensitas cahaya yang ditangkap tersebut maka semakin besar pula arus yang dihasilkan fototransistor. Dalam Gambar 4.2, fototransistor tersebut dilengkapi dengan rangkaian pengubah arus ke tegangan berupa sebuah resistor (R_2) yang disusun seri dengan fototransistor. Fungsi resistor itu adalah sebagai komponen yang akan mengubah besaran arus listrik yang dihasilkan oleh fototransistor menjadi tegangan listrik. Sehingga besarnya intensitas cahaya yang ditangkap oleh fototransistor mempengaruhi besarnya tegangan yang terjadi pada resistor tersebut. Dan besarnya tegangan output (V_{OUT}) rangkaian instrumen fotometri ini ditentukan melalui persamaan :

$$V_{OUT} = 2200 \cdot I_F \quad (4.2)$$

Dengan: I_F = arus yang mengalir pada fototransistor.

Di antara sumber dan sensor cahaya terdapat suatu sampel minyak goreng yang ditempatkan dalam suatu kuvet atau tempat cuplikan. Kuvet tersebut ditentukan berdasarkan bentuk sisi permukaan dan bahan pembuatnya agar cahaya dapat diteruskan dengan maksimal sehingga tidak terlalu mempengaruhi hasil pengukuran. Berdasarkan beberapa pertimbangan kuvet yang terbaik adalah yang terbuat dari bahan mika plastik tembus pandang dengan sisi permukaan datar atau tidak melengkung, sehingga cahaya yang dilewatkan tidak akan terpantul dan merambat lurus tanpa terbiaskan oleh kuvet.

4.4.2. Perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal yang dirancang dalam alat ini adalah rangkaian penguat non inverting. Tegangan input rangkaian ini berasal dari tegangan output rangkaian pengubah arus ke tegangan pada sistem fotometri. Besarnya gain penguatan pada perancangan rangkaian pengkondisi sinyal ini ditentukan oleh besarnya tegangan input maksimal yang berasal dari sensor dan juga tergantung pada besarnya tegangan output maksimal yang mampu dihasilkan dengan baik oleh Op.Amp.

4.4.2.1. Pengujian Terhadap Nilai Output Maksimal Sensor

Dalam pengujian ini akan diukur besarnya tegangan output yang dihasilkan oleh rangkaian pengubah arus ke tegangan pada saat pengukuran dengan tidak terdapatnya sampel pada tempat cuplikan. Sehingga bisa diasumsikan bahwa cahaya yang dipancarkan oleh LED akan sepenuhnya ditangkap oleh fototransistor dan fototransistor akan menghasilkan arus yang maksimal pada kondisi ini.

Dari hasil pengujian didapatkan data bahwa tegangan output yang dihasilkan rangkaian pengubah arus ke tegangan pada kondisi pengukuran pada saat tidak terdapat sampel adalah sebesar 2,39 volt. Sehingga bisa diketahui bahwa tegangan output maksimal sensor sebesar 2,39 volt.

4.4.2.2. Pengujian Terhadap Nilai Output Maksimal Op. Amp.

Dalam pengujian ini dilakukan pengukuran terhadap besarnya nilai tegangan output maksimal yang bisa dihasilkan oleh Op. Amp. berdasarkan gain yang ditentukan. Hasil pengujian ini dapat dilihat dalam Tabel 4.1.

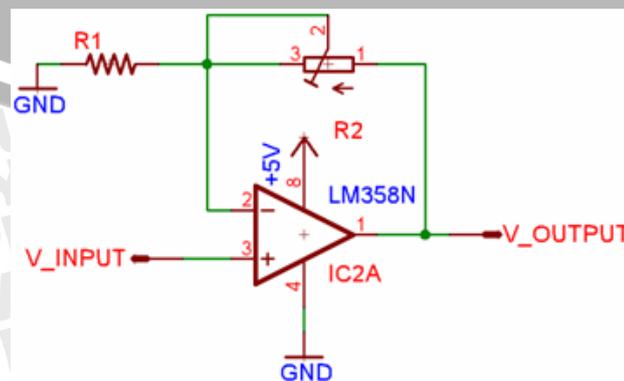
Tabel 4.1. Pengujian Nilai Output Maksimal Op. Amp.

No.	Gain	Pengukuran		Perhitungan		Kesalahan	
		V _{IN} (volt)	V _{OUT} (volt)	V _{IN} (volt)	V _{OUT} (volt)	V _{IN} (%)	V _{OUT} (%)
1	1,45	2,39	3,44	2,39	3,4655	0	0,73582
2	1,5	2,39	3,55	2,39	3,585	0	0,97629
3	1,52	2,39	3,61	2,39	3,6328	0	0,62762
4	1,54	2,39	3,65	2,39	3,6806	0	0,83139
5	1,55	2,39	3,65	2,39	3,7045	0	1,47118
6	1,6	2,39	3,7	2,39	3,824	0	3,24268
7	1,65	2,39	3,7	2,39	3,9435	0	6,17472

Dari Tabel 4.1., dapat diketahui bahwa nilai output maksimal yang masih sesuai dengan nilai gain penguatannya adalah data ke-4, dengan tegangan output sebesar 3,65 Volt dengan besarnya penguatan adalah 1,54 kali. Sehingga besarnya Gain yang akan digunakan dalam perancangan rangkaian pengkondisi sinyal ini adalah 1,54 kali.

4.4.2.3. Perancangan Gain Pengkondisi Sinyal

Bentuk Rangkaian Pengkondisi Sinyal dalam perancangan alat ini ditunjukkan dalam Gambar 4.3. Dengan besarnya Gain penguatan adalah 1,54 kali.



Gambar 4.3. Rangkaian Pengkondisi Sinyal.

Dan nilai tegangan output ditentukan melalui persamaan :

$$V_{out} = A \cdot V_{in} \quad (4.3)$$

$$A = \frac{(R_1 + R_2)}{R_1} \quad (4.4)$$

Dengan : V_{out} = tegangan output RPS (volt)

V_{in} = tegangan input RPS (volt)

A = Gain penguatan RPS

R_1 dan R_2 = resistor pada RPS (Ω)

Dengan nilai A = 1,54, dan ditentukan $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, maka besarnya:

$$R_2 = (A \cdot R_1) - R_1 = (1,54 \cdot 10000) - 10000 = 5\text{k}4 \Omega.$$

4.4.3. Perancangan Sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD 2x16 bit

Rangkaian sistem ini mencakup rangkaian minimum sistem Mikrokontroler R8C/13, rangkaian antarmuka dengan LCD, rangkaian LED indikator aktivitas, dan rangkaian antarmuka dengan komputer. Rangkaian sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD 2x16 bit ditunjukkan dalam Gambar 4.4.

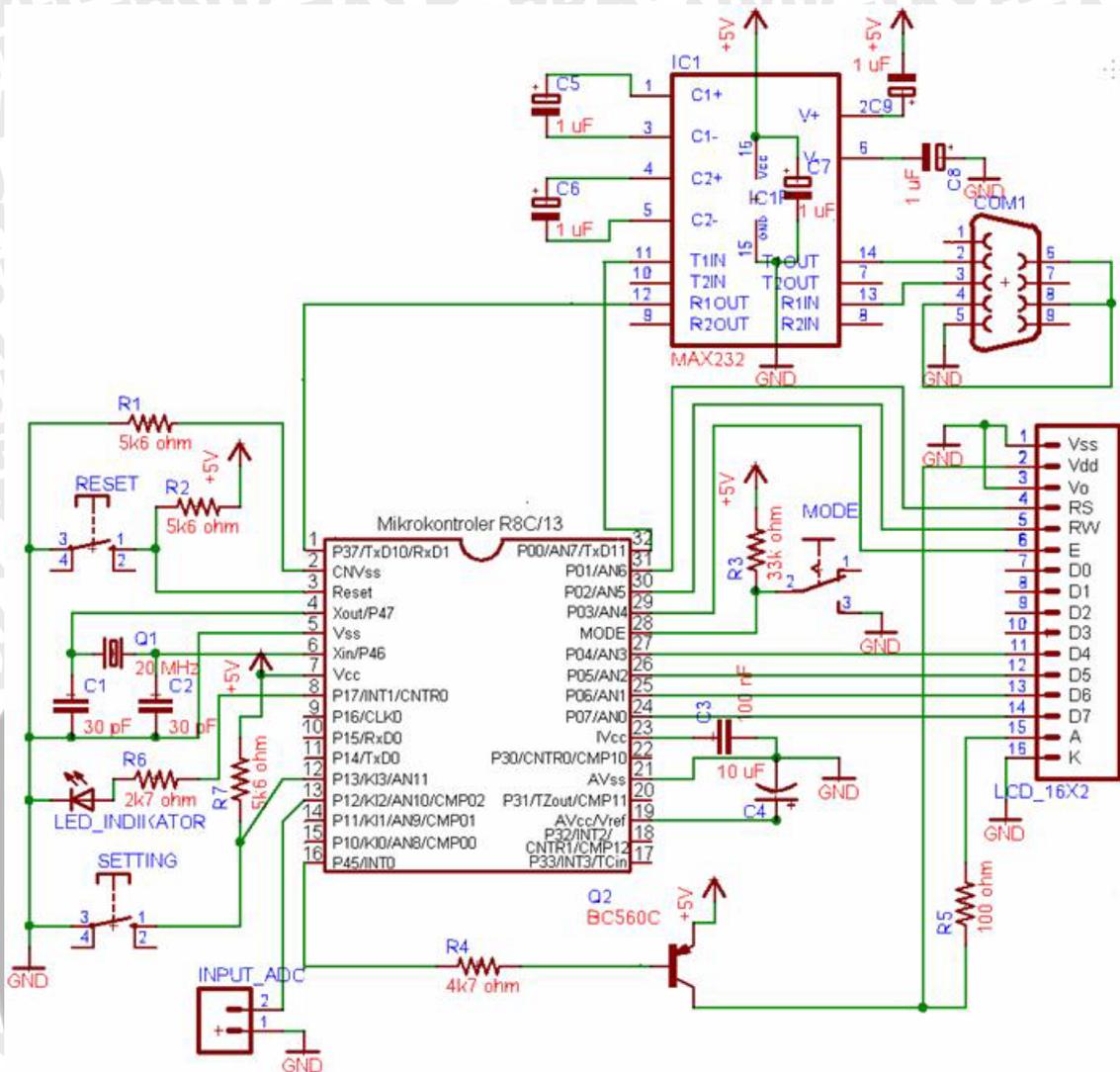
Bagian – bagian dalam Rangkaian Sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD yang ditunjukkan dalam Gambar 4.4 adalah sebagai berikut:

1) Rangkaian minimum sistem Mikrokontroler R8C/13.

Dalam rangkaian ini digunakan osilator kristal 20 MHz untuk menghasilkan kecepatan proses maksimum. Inisialisasi mikrokontroler dilakukan melalui penekanan tombol RESET dengan logika aktif rendah. Tombol MODE digunakan untuk menentukan mode operasi mikrokontroler. Mode operasi normal aktif jika pin MODE berlogika 1, dan mode *in-system debugging* aktif pada logika 0.

2) Input ADC.

Pin yang digunakan sebagai input ADC adalah pin 13 atau ADC kanal 10 pada Mikrokontroler R8C/13. Sedangkan *setting* ADC yang digunakan adalah ADC dengan resolusi 8 bit yang beroperasi pada mode konversi kontinyu.



Gambar 4.4. Rangkaian Sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD.

3) Rangkaian antarmuka dengan LCD.

Untuk antarmuka dengan LCD digunakan sebanyak 8 buah pin Mikrokontroler R8C/13, pin-pin tersebut antara lain:

- P4₅ digunakan sebagai pengatur kondisi ON/OFF LCD. Karena LCD di-setting hidup pada saat P4₅ logika rendah maka untuk menghidupkannya digunakan transistor PNP tipe BC560 untuk mengatur penguatan arus. Agar arus I_B yang mengalir antara ± 1 mA maka dibutuhkan R_B sebesar :

$$R_B = (V_{CC} - V_{EB})/I_B = (5 - 0,7)/0,001 = 4k3 \Omega \approx 4k7 \Omega.$$

Agar diperoleh nyala backlight pada tegangan 3,9 Volt dengan arus I_C sebesar 12 mA, sehingga dapat menghemat daya yang digunakan maka arus backlight perlu dibatasi dengan pemberian R_{backlight} sebesar :

$$R_{backlight} = (V_{CC} - V_{backlight})/I_{backlight} = (5 - 3,9)/0,012 = 91 \Omega \approx 100 \Omega.$$

- b. Pin P0₁, P0₂, dan P0₃ digunakan sebagai pengendali *Register Selection* (RS), *Read/Write Selection* (RW), dan *Enable Signal* (E).
 - c. Pin P0₄ – P0₇ digunakan sebagai pin data yang terhubung dengan pin D4 – D7 pada LCD LMB162A.
 - d. Sedangkan pin V_{ss}, V_o, dan K pada LCD LMB162A terhubung ke *ground*.
- 4) Rangkaian LED indikator aktivitas.

Pin P17 digunakan sebagai pengatur LED indikator aktivitas. LED ini akan menyala berkedip apabila Mikrokontroler sedang beroperasi. LED yang digunakan adalah LED merah ukuran 3 mm yang membutuhkan arus sebesar 1 mA dengan tegangan LED sebesar 2 Volt pada saat menyala. Sehingga untuk membatasi arus yang mengalir diperlukan R_{LED} sebesar :

$$R_{LED} = (V_{OH} - V_{LED})/I_{LED} = (4,9 - 2)/0,001 = 2k9 \Omega \approx 2k7 \Omega.$$

- 5) Rangkaian antarmuka dengan komputer.

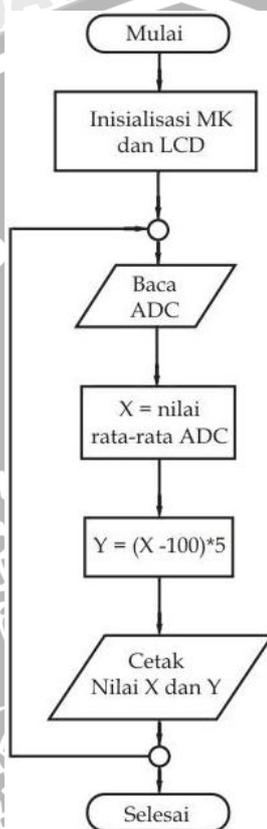
Dalam perancangan ini antarmuka serial UART1 digunakan sebagai komunikasi antara Mikrokontroler R8C/13 dengan komputer. Sehingga diperlukan rangkaian standar RS-232C dengan menggunakan IC MAX232 untuk mengonversi level tegangan 0 dan 5 volt pada mikrokontroler menjadi -10 dan 10 volt pada komputer, serta level tegangan -12 dan 12 volt pada komputer menjadi 0 dan 5 volt pada mikrokontroler. Pada rangkaian ini pin R_xD₁ dan T_xD₁₁ secara berurutan terhubung dengan pin R₁OUT dan T₁IN pada MAX232. Sedangkan pin R₁IN dan T₁OUT pada MAX232 terhubung dengan pin 3 dan 2 pada terminal serial COM1. Selain itu pin 4, 6, dan 8 pada serial COM1 harus saling terhubung agar koneksi dapat dijalankan.

4.5. Perancangan Perangkat Lunak

Program dibuat dengan menggunakan program developer bernama *High-performance Embedded Workshop* (HEW). HEW berfungsi sepenuhnya untuk pemrograman Mikrokontroler R8C/13. Sedangkan bahasa pemrograman yang digunakan adalah Bahasa C. Terdapat 2 buah program yang akan dirancang untuk digunakan dalam mengoperasikan alat ukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini. Salah satu dari 2 program tersebut adalah program yang digunakan untuk proses kalibrasi kasar untuk mengetahui karakteristik sistem. Sedangkan satu program lainnya adalah program yang akan digunakan sebagai program utama dan program permanen yang akan menjalankan sistem alat ini sehingga dapat menampilkan kadar beta karoten yang diukur oleh alat ini.

4.5.1. Program Untuk Proses Kalibrasi

Program ini hanya berisi operasi-operasi sederhana yang akan digunakan dalam proses kalibrasi untuk mengetahui karakteristik sistem alat ini. Operasi sederhana tersebut meliputi pengkonversian data ADC dengan resolusi 8 bit serta menghitung nilai rata-ratanya, operasi aritmatika sederhana dan penampilan data hasil operasi pada layar LCD. Diagram Alir program untuk proses kalibrasi ini ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Diagram Alir program untuk proses kalibrasi

Diagram alir program kalibrasi dalam Gambar 4.5. tersebut hanya memproses data ADC 8 bit untuk mencari nilai rata-rata dari 128 nilai data ADC. Kemudian program akan melakukan suatu proses perhitungan sederhana yaitu $y = (x - 100) * 5$ (x adalah nilai rata-rata ADC). Dan kemudian menampilkan nilai rata-rata ADC dan nilai hasil perhitungan sederhana tersebut pada LCD.

4.5.2. Program Utama Sistem

Program ini adalah program yang akan digunakan sebagai program utama yang akan mengontrol sistem kerja alat ukur beta karoten dalam minyak goreng. Di dalam program ini terdapat proses perhitungan aritmatik yang digunakan untuk mengolah nilai data ADC agar dapat menunjukkan nilai kadar beta karoten sampel minyak goreng berdasarkan data ADC tersebut. Perhitungan aritmatik tersebut didapat berdasarkan

hasil analisis dari proses kalibrasi yang menunjukkan karakteristik data ADC terhadap nilai kadar beta karoten dalam minyak goreng. Proses kalibrasi tersebut dilakukan dengan menggunakan program untuk kalibrasi pada Sub bab 4.5.1 sehingga program utama sistem ini nantinya akan menampilkan nilai kadar beta karoten yang terdapat dalam sampel minyak goreng yang diukur.

4.5.2.1. Hasil Uji Laboratorium Sampel Minyak Goreng

Berdasarkan prosedur untuk menguji kadar beta karoten secara konvensional yang telah dijelaskan dalam Bab II. Dari hasil pengujian kadar beta karoten yang telah dilakukan tersebut diperoleh data sebagai berikut:

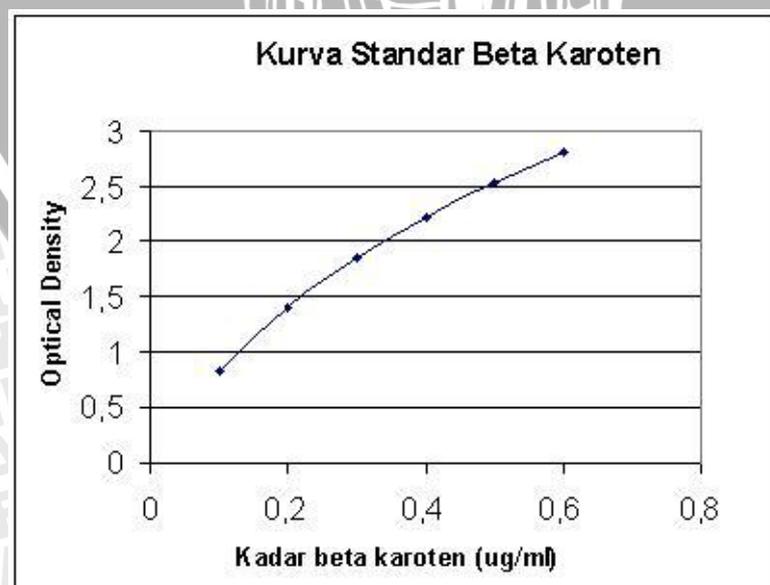
- a) Hasil pengujian untuk memperoleh kurva standar beta karoten.

Dari hasil pengujian yang telah dijelaskan dalam sub bab 2.1.1., diperoleh data hasil pengujian seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Uji Kurva Standar Beta Karoten.

No.	optical density	Kadar beta karoten ($\mu\text{g/ml}$)
1	0,84	0,1
2	1,41	0,2
3	1,86	0,3
4	2,22	0,4
5	2,54	0,5
6	2,82	0,6

Dari hasil pengujian yang terdapat dalam Tabel 4.2. tersebut, dapat dibuat grafik Kurva Standar Beta Karoten yang ditunjukkan dalam Gambar 4.6 dan merupakan grafik fungsi kadar beta karoten terhadap nilai optical density.



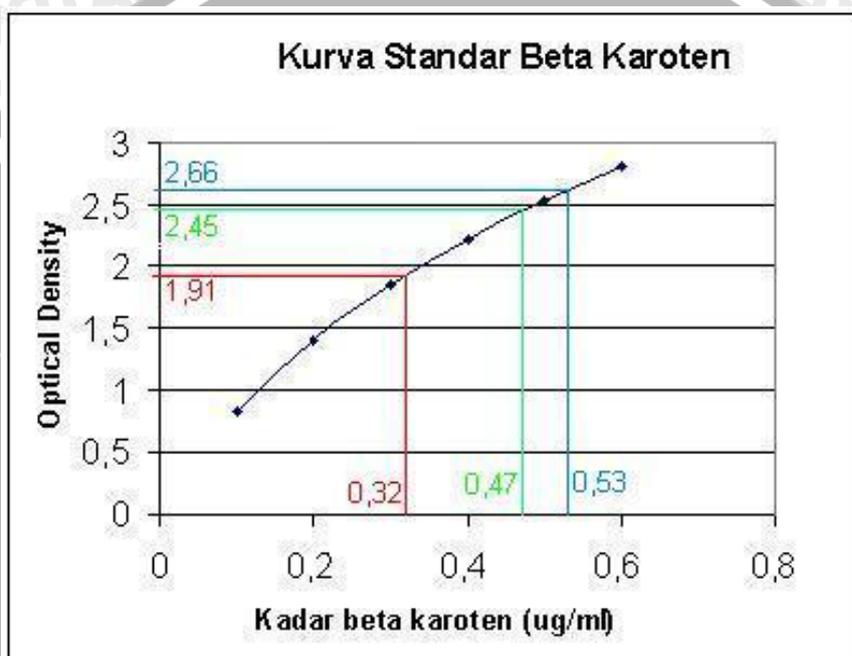
Gambar 4.6. Kurva Standar Beta Karoten Hasil Pengujian

b) Hasil pengujian terhadap beberapa sampel minyak goreng.

Dari hasil pengujian yang telah dijelaskan dalam sub bab 2.1.2., diperoleh data hasil pengujian seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.3. dan Gambar 4.7.

Tabel 4.3. Hasil Uji Beta Karoten Dalam Sampel Minyak Goreng

No.	Minyak Goreng	Optical Density
1	Tropical	1,91
2	Bimoli	2,66
3	Hemart	2,45



Gambar 4.7. Grafik penentuan kadar beta karoten sampel

Dari data hasil pengujian yang terdapat dalam Tabel 4.3., maka dapat dicari nilai kadar beta karoten dalam sampel minyak goreng yang telah diuji tersebut dengan menggunakan kurva standar beta karoten dalam Gambar 4.6. sebagai acuannya. Sehingga didapatkan nilai kadar beta karoten untuk masing-masing sampel minyak goreng seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.7. Berdasarkan Grafik dalam Gambar 4.7. tersebut dapat diketahui bahwa nilai kadar beta karoten dalam sampel minyak goreng yang di uji adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4. Kadar Beta Karoten Dalam Sampel Minyak Goreng

No.	Minyak Goreng	Kadar β karoten (µg/ml)
1	Tropical	0,32
2	Bimoli	0,53
3	Hemart	0,47

4.5.2.2. Perancangan Berdasarkan Proses Kalibrasi

Proses kalibrasi ini bertujuan untuk mengetahui atau memperoleh karakteristik hubungan antara nilai kadar beta karoten dengan nilai data konversi ADC pada alat ukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini. Proses kalibrasi ini dilakukan dengan menggunakan sampel minyak yang telah diketahui kadar beta karotennya, kemudian dengan menggunakan program untuk proses kalibrasi dalam Sub Bab 4.5.1 akan diketahui nilai hasil konversi ADC berdasarkan kadar beta karoten yang terdapat dalam minyak goreng tersebut. Proses kalibrasi ini dilakukan secara berulang untuk beberapa sampel minyak goreng dengan nilai kadar beta karoten yang berbeda.

Dalam proses kalibrasi ini digunakan multivitamin Viality Softgel Capsule yang mengandung kadar beta karoten berkisar antara ± 15 mg/100g. Multivitamin Viality Softgel Capsule mengandung antara lain minyak pucuk gandum, vitamin E, dan beta karoten sehingga dapat diketahui bahwa kandungan zat dalam multivitamin tersebut identik dengan kandungan zat yang terdapat dalam minyak goreng. Dalam 1 kapsul Viality Softgel memiliki massa 0,8 g dan volume 28 tetes atau sama dengan 1,4 ml.

Prosedur kalibrasi yang akan digunakan dalam pengujian alat ukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini adalah sebagai berikut :

a. Alat dan bahan:

- Minyak Goreng Tropical mengandung kadar beta karoten 0,32 $\mu\text{g/ml}$.
- Multivitamin Viality Softgel Capsule mengandung kadar beta karoten ± 15 mg/100g.

b. Cara kerja:

- 1) Sebanyak 5 ml minyak goreng Tropical dicampur dengan 24 tetes atau 1,2 ml multivitamin Viality Softgel Capsule. Sehingga kadar beta karoten minyak campuran didapatkan melalui persamaan :

$$\text{Kadar } \beta \text{ karoten campuran} = \frac{m_1}{(100/m_2) \cdot (v_1/v_2) \cdot v_3} + \frac{m_3 \cdot 5}{v_3} \quad (4.5)$$

Dengan : m_1 = kadar β karoten dalam 100 gr Viality Softgel Capsule (mg)

m_2 = massa 1 buah kapsul Viality Softgel Capsule (g)

m_3 = kadar beta karoten dalam minyak Tropical ($\mu\text{g/ml}$)

v_1 = volume 1 buah kapsul Viality Softgel Capsule (ml)

v_2 = volume Viality Softgel Capsule yang dicampurkan (ml)

v_3 = volume campuran minyak (ml)

$$\text{Kadar } \beta \text{ karoten campuran} = \frac{15000}{(100/0,8) \cdot (1,4/1,2) \cdot 6,2} + \frac{0,32 \cdot 5}{6,2} = 16,85 \mu\text{g/ml}$$

- 2) Sebanyak 20 ml minyak goreng Tropical ditempatkan pada sebuah kuvet, kemudian diukur dengan menggunakan alat pengukur kadar beta karoten ini dan dicatat keluaran nilai ADCnya yang ditampilkan oleh LCD.
- 3) Ditambahkan beberapa tetes minyak campuran yang telah dibuat tersebut ke dalam kuvet yang berisi 20 ml minyak goreng Tropical. Kemudian dihitung nilai kadar beta karoten dalam minyak Tropical tersebut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K_1 = \frac{20.K_0 + (t/20).K_C}{20 + (t/20)} \quad (4.6)$$

Dengan : K_0 = Kadar minyak goreng Tropical awal ($\mu\text{g/ml}$)

K_1 = Kadar minyak goreng Tropical setelah ditambahkan ($\mu\text{g/ml}$)

K_C = Kadar minyak campuran = 16,85 $\mu\text{g/ml}$.

t = jumlah minyak campuran yang ditambahkan (tetes)

- 4) Selanjutnya minyak Tropical yang telah ditambahkan tersebut diukur dengan alat ini serta dicatat keluaran nilai ADC-nya yang ditampilkan oleh LCD.
- 5) Kemudian diulangi langkah no. 3 dan 4, sampai didapatkan data yang mencukupi untuk dianalisis.
- 6) Dari data-data hasil pengujian yang didapatkan tersebut kemudian dibuat suatu tabel dan grafik yang menunjukkan hubungan antara kadar beta karoten dalam sampel minyak dengan keluaran nilai data ADC yang ditampilkan oleh LCD.

Dari prosedur kalibrasi yang telah dilakukan tersebut didapatlah data-data hasil pengujian yang ditunjukkan dalam Tabel 4.5. dan Tabel 4.6., serta data-data tersebut kemudian direpresentasikan dalam suatu grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.8.

Tabel 4.5. Hasil Kalibrasi Kadar β Karoten

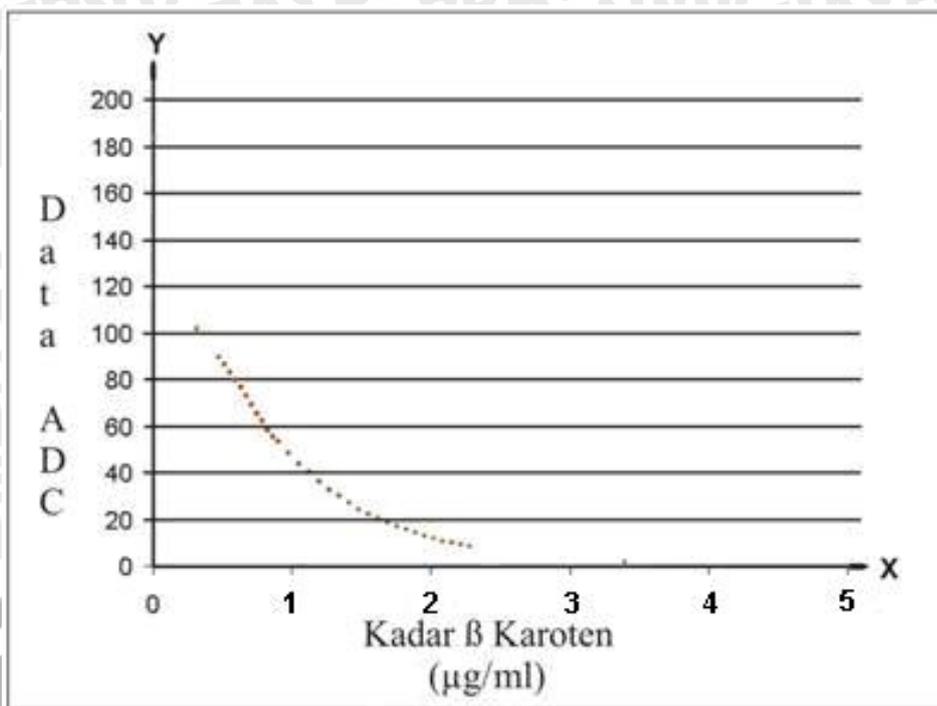
No.	Penambahan campuran (tetes)	kadar beta karoten ($\mu\text{g/ml}$)	data ADC	No.	Penambahan campuran (tetes)	kadar beta karoten ($\mu\text{g/ml}$)	data ADC
1	0	0,325	102	18	25	1,3	32
2	4	0,475	89	19	27	1,375	30
3	5	0,525	86	20	29	1,45	27
4	6	0,575	83	21	31	1,5	24
5	7	0,6	80	22	33	1,575	22
6	8	0,65	77	23	35	1,65	20
7	9	0,675	73	24	37	1,725	18
8	10	0,725	69	25	39	1,8	17
9	11	0,775	65	26	41	1,85	15
10	12	0,8	62	27	43	1,925	14
11	13	0,85	58	28	45	2	13
12	14	0,875	55	29	47	2,05	12

13	15	0,925	53	30	49	2,125	10
14	17	1	48	31	53	2,25	9
15	19	1,075	44	32	55	2,325	8
16	21	1,15	40	33	75	2,925	1
17	23	1,225	36				

Tabel 4.6. Hubungan data ADC dengan kadar β karoten

No.	kadar β karoten ($\mu\text{g}/20\text{ml}$)	Data ADC	No.	kadar β karoten ($\mu\text{g}/20\text{ml}$)	Data ADC
1	0	184	19	1,3	32
2	0,325	102	20	1,375	30
3	0,475	89	21	1,45	27
4	0,525	86	22	1,5	24
5	0,575	83	23	1,575	22
6	0,6	80	24	1,65	20
7	0,65	77	25	1,725	18
8	0,675	73	26	1,8	17
9	0,725	69	27	1,85	15
10	0,775	65	28	1,925	14
11	0,8	62	29	2	13
12	0,85	58	30	2,05	12
13	0,875	55	31	2,125	10
14	0,925	53	32	2,25	9
15	1	48	33	2,325	8
16	1,075	44	34	2,925	1
17	1,15	40	35	~	0
18	1,225	36			

Hasil kadar beta karoten dalam Tabel 4.6. pada baris no.1 diperoleh dari hasil pengukuran air putih bening sebagai sampel dan diasumsikan bahwa kadar beta karotennya = 0. Sedangkan pada baris no. 35 saat kadar beta karoten diasumsikan sangat pekat atau kadarnya tak terhingga, nilai data ADC-nya diperoleh dari hasil pengukuran pada saat cahaya dari LED sumber cahaya dihalangi semuanya atau tidak ada cahaya yang diteruskan oleh sampel dan ditangkap oleh sensor cahaya. Grafik yang menyatakan hubungan antara kadar beta karoten dalam sampel minyak goreng dengan nilai data ADC berdasarkan Tabel 4.6. ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik kadar beta karoten terhadap data ADC.

Jika melihat dari persebaran data yang ditunjukkan dalam Gambar 4.8. tersebut menunjukkan bahwa grafik hubungan antara kadar beta karoten dan nilai data ADC berbentuk eksponensial. Sehingga dari bentuk grafik tersebut bisa dicari hubungan persamaan antara kadar beta karoten dalam sampel minyak goreng dengan nilai data ADC. Hubungan persamaan tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan eksponensial sebagai berikut:

$$y = A \cdot e^{-bx} + c \tag{4.7}$$

- Dengan : x = kadar beta karoten dalam sampel minyak goreng (µg/ml)
- y = nilai data ADC
- e = konstanta bilangan natural = 2,71828
- A, b, dan c adalah konstanta persamaan yang akan dicari

Untuk mengetahui konstanta A, b, dan c tersebut dipilih beberapa data yang terdapat dalam Tabel 4.6. untuk dimasukkan ke dalam nilai x dan y dalam persamaan 4.7. tersebut. Data-data yang dipilih tersebut harus sesuai agar dapat mempermudah perhitungan. Data-data yang tersebut antara lain:

Tabel 4.7. Data-data untuk Persamaan 4.7

No.	kadar β karoten/(x) (µg/20ml)	Data ADC (y)
1	~	0
2	0	184
3	1,15	40

Hasil Perhitungan :

➤ Dari data no. 1

$$y = A \cdot e^{-bx} + c$$

$$0 = A \cdot 2,71828^{-b(0)} + c$$

$$0 = A \cdot (1/\sim) + c$$

$$c = 0$$

➤ Dari data no. 2

$$y = A \cdot e^{-bx} + c$$

$$184 = A \cdot 2,71828^{-b(0)} + 0$$

$$A = 184$$

➤ Dari data no. 3

$$y = A \cdot e^{-bx} + c$$

$$40 = 184 \cdot 2,71828^{-b(1,15)} + 0$$

$$40/184 = 2,71828^{-b(1,15)}$$

$$0,2174 = 2,71828^{-b(1,15)}$$

$$\log 0,2174 = \log (2,71828^{-b(1,15)})$$

$$-0,6627 = -1,15 \cdot b \cdot (\log 2,71828)$$

$$-0,6627 = -1,15 \cdot b \cdot 0,4343$$

$$b = 1,32687$$

Sehingga diperoleh hubungan persamaan fungsi I sebagai berikut :

$$y = 184 \cdot e^{-1,32687 \cdot X} \quad (4.8)$$

Dengan : x = kadar beta karoten dalam sampel minyak goreng ($\mu\text{g/ml}$)

y = nilai data ADC

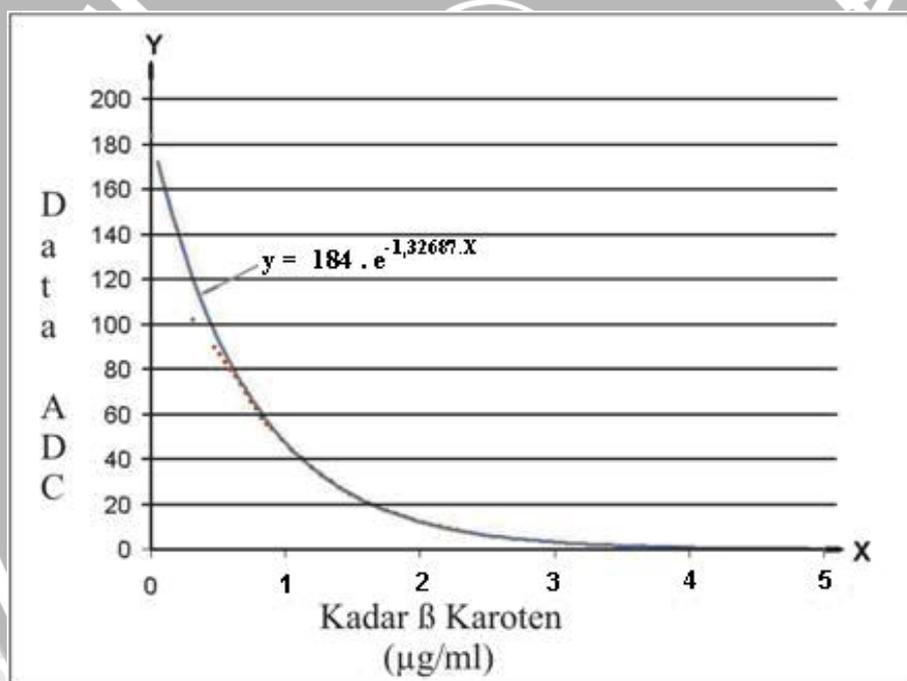
Dari persamaan 4.8, dapat diketahui selisih nilai antara data hasil kalibrasi dan data hasil perhitungan serta nilai *error*-nya. Data-data tersebut ditunjukkan dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Perbandingan Hasil Kalibrasi dan Perhitungan Persamaan 4.8

No.	kadar β karoten ($\mu\text{g}/20\text{ml}$)	Data Nilai ADC			
		Hasil Kalibrasi	Hasil Perhitungan	Selisih	Nilai error (%)
1	0	184	184	0	0
2	0,325	102	120	18	15
3	0,475	89	98	9	9,184
4	0,525	86	92	6	6,522
5	0,575	83	86	3	3,488
6	0,6	80	83	3	3,614
7	0,65	77	78	1	1,282
8	0,675	73	75	2	2,666
9	0,725	69	70	1	1,429
10	0,775	65	66	1	1,515
11	0,8	62	64	2	3,125
12	0,85	58	60	2	3,333
13	0,875	55	57	2	3,509
14	0,925	53	54	1	1,852
15	1	48	49	1	2,041
16	1,075	44	44	0	0
17	1,15	40	40	0	0
18	1,225	36	36	0	0
19	1,3	32	33	1	3,03
20	1,375	30	30	0	0
21	1,45	27	27	0	0

22	1,5	24	25	1	4
23	1,575	22	23	1	4,348
24	1,65	20	21	1	4,762
25	1,725	18	19	1	5,263
26	1,8	17	17	0	0
27	1,85	15	16	1	6,25
28	1,925	14	14	0	0
29	2	13	13	0	0
30	2,05	12	12	0	0
31	2,125	10	11	1	9,091
32	2,25	9	9	0	0
33	2,325	8	8	0	0
34	2,925	1	4	3	75
35	~	0	0	0	-

Sedangkan kurva yang menyatakan fungsi kadar beta karoten (y) terhadap nilai data ADC (x) berdasarkan Persamaan 4.8. ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik Fungsi I kadar beta karoten terhadap data ADC

Dari hasil analisis grafik dalam Gambar 4.9. dan data dalam Tabel 4.8. dapat diketahui bahwa nilai ADC hasil kalibrasi yang sesuai dengan hasil perhitungan persamaan 4.8 adalah nilai ADC untuk kadar beta karoten lebih dari 0,6 µg/ml dan kurang dari sama dengan 2,325 µg/ml. Sedangkan untuk kadar beta karoten di bawah 0,6 µg/ml dan di atas 2,325 µg/ml diperoleh nilai data ADC yang memiliki selisih cukup besar yaitu lebih dari 2. Sehingga untuk pengukuran kadar beta karoten kurang dari 0,6 µg/ml perlu digunakan persamaan lainnya. Dan untuk kadar beta karoten lebih dari 2,325 µg/ml tidak dilakukan pengukuran.

Karena persebaran data-data ADC untuk kadar beta karoten kurang dari $0,6\mu\text{g/ml}$ menunjukkan persebaran seperti garis miring lurus (dalam Gambar 4.7) maka untuk mencari hubungan antara nilai data ADC dengan kadar beta karoten pada range di bawah $0,6\mu\text{g/ml}$ tersebut digunakan persamaan linier. Persamaan tersebut adalah:

$$y = m \cdot x + c \quad (4.9)$$

Dengan : y = nilai data ADC

x = kadar beta karoten dalam sampel minyak goreng ($\mu\text{g/ml}$)

m = gradien kemiringan

c = nilai konstanta

Untuk mengetahui konstanta m dan c tersebut dipilih beberapa data yang terdapat dalam Tabel 4.6. untuk kadar beta karoten di bawah $0,6\mu\text{g/ml}$ untuk dimasukkan ke dalam nilai x dan y dalam persamaan 4.9 tersebut. Data-data tersebut antara lain:

Tabel 4.9. Data-data untuk Persamaan 4.9

No.	kadar β karoten/ (x) ($\mu\text{g}/20\text{ml}$)	Data ADC (y)
1	0,325	102
2	0,525	86
3	0,575	83
4	0,6	80

Hasil Perhitungan :

➤ Dari data no. 1

$$y = m \cdot x + c$$

$$102 = 0,325 \cdot m + c$$

$$c = 102 - 0,325 \cdot m$$

➤ Dari data no. 3

$$y = m \cdot x + c$$

$$83 = 0,575 \cdot m + 102 - 0,325 \cdot m$$

$$-19 = 0,25 \cdot m$$

$$m = -76$$

$$c = 102 - (0,325 \cdot (-76))$$

$$= 102 + 24,7$$

$$c = 126,7$$

Sehingga diperoleh hubungan persamaan fungsi II:

$$y = -76 \cdot x + 126,7 \quad (4.10)$$

Dengan : y = nilai data ADC

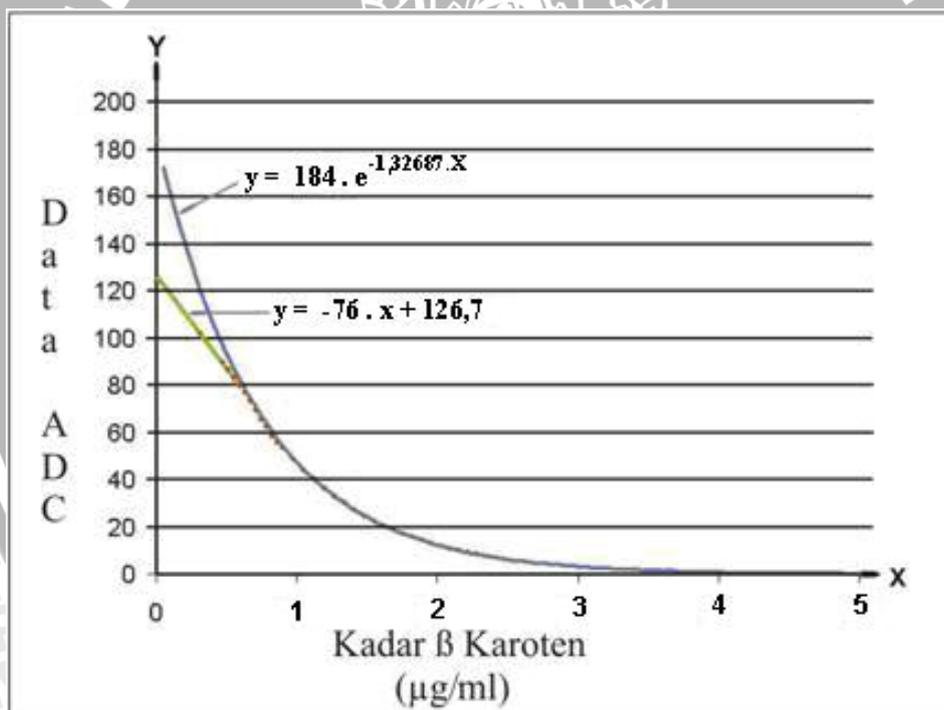
x = kadar beta karoten dalam sampel minyak goreng ($\mu\text{g/ml}$)

Dari persamaan 4.10 dapat diketahui data hasil perhitungan untuk kadar beta karoten di bawah $0,6 \mu\text{g/ml}$ yang ditunjukkan dalam Tabel 4.10. Dan bentuk kurva persamaan 4.10 ditunjukkan dalam Gambar 4.8.

Tabel 4.10. Perbandingan Hasil Kalibrasi dan Perhitungan Persamaan 4.10

No.	kadar β karoten ($\mu\text{g}/20\text{ml}$)	Data Nilai ADC			
		Hasil Kalibrasi	Hasil Perhitungan	Selisih	Nilai error (%)
1	0,325	102	102	0	0
2	0,475	89	90	1	1,11
3	0,525	86	87	1	1,15
4	0,575	83	83	0	0
5	0,6	80	81	1	1,23

Dari Tabel 4.10 dapat diketahui selisih antara data hasil kalibrasi dan perhitungan serta prosentase nilai *error*-nya. Dari 5 data yang telah diujikan perbedaan terbesar antara data hasil perhitungan dan data hasil kalibrasi hanya 1 angka, sehingga membuktikan bahwa persamaan 4.10 sesuai untuk kadar beta karoten $< 0,6 \mu\text{g/ml}$.



Gambar 4.10. Grafik Fungsi I dan II data ADC terhadap kadar beta karoten

Dalam Gambar 4.10. garis kurva berwarna biru merupakan kurva persamaan 4.8, yaitu: $y = 184 \cdot e^{-1,32687 \cdot X}$ yang merupakan kurva fungsi nilai data ADC terhadap kadar beta karoten untuk kadar beta karoten dalam range $> 0,6 \mu\text{g/ml}$. Sedangkan garis kurva berwarna hijau merupakan kurva persamaan 4.10, yaitu: $y = -76 \cdot x + 126,7$ yang merupakan kurva fungsi nilai data ADC terhadap kadar beta karoten untuk kadar beta karoten $< 0,6 \mu\text{g/ml}$.

Dalam pemrosesan data, nilai variabel data yang diketahui oleh mikrokontroler hanya nilai variabel data ADC dan variabel data yang akan dicari adalah variabel data kadar beta karoten, maka kedua persamaan yang telah didapatkan tersebut (persamaan 4.8 dan 4.10) harus diubah menjadi bentuk persamaan yang menjadikan variabel x atau variabel kadar beta karoten menjadi nilai variabel yang akan dicari. Sehingga kedua persamaan tersebut (persamaan 4.8 dan 4.10) berubah menjadi :

Persamaan 1.

$$y = 184 \cdot e^{-1,32687 \cdot X}$$

$$y / 184 = e^{-1,32687 \cdot X}$$

$$184 / y = e^{1,32687 \cdot X}$$

$$e^{\log(184 / y)} = 1,32687 \cdot x$$

$$x = \frac{e^{\log(184 / y)}}{1,32687} \quad (4.11)$$

Persamaan 2.

$$y = -76 \cdot x + 126,7$$

$$y - 126,7 = -76 \cdot x$$

$$x = \frac{y - 126,7}{-76} \quad (4.12)$$

Dengan : y = nilai data ADC

x = kadar beta karoten dalam sampel minyak goreng ($\mu\text{g/ml}$)

Persamaan 4.11 dan 4.12, nantinya akan digunakan sebagai rumus yang akan dimasukkan ke dalam program utama untuk menghitung kadar beta karoten yang terdapat dalam sampel minyak goreng yang diukur. Persamaan 4.11 merupakan persamaan untuk nilai ADC ≥ 8 dan < 80 . Sedangkan persamaan 4.12 merupakan persamaan untuk nilai ADC ≥ 80 dan < 127 .

4.5.2.3. Penentuan Jangkauan Ukur dan Resolusi Alat

Dari persamaan 4.11 dan 4.12, dapat dicari margin error yang bisa ditimbulkan oleh alat ini jika diperbandingkan antara nilai kadar beta karoten hasil pengukuran dengan nilai kadar beta karoten yang sesungguhnya. Dan nilai error tersebut ditunjukkan dalam Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Perbandingan data pengukuran alat dengan data sebenarnya

No,	Data ADC	Kadar beta Karoten (ug/20ml)			nilai error(%)
		pengukuran	sebenarnya	selisih	
1	120	0	0	0	0
2	102	0,325	0,325	0	0
3	89	0,496	0,475	0,021	4,421
4	86	0,535	0,525	0,01	1,904
5	83	0,575	0,575	0	0
6	80	0,615	0,6	0,015	2,5
7	77	0,657	0,65	0,007	1,076
8	73	0,697	0,675	0,022	3,259
9	69	0,739	0,725	0,014	1,931
10	65	0,784	0,775	0,009	1,161
11	62	0,82	0,8	0,02	2,5
12	58	0,87	0,85	0,02	2,352
13	55	0,91	0,875	0,035	4
14	53	0,938	0,925	0,013	1,405
15	48	1,013	1	0,013	1,3
16	44	1,078	1,075	0,003	0,279
17	40	1,15	1,15	0	0
18	36	1,23	1,225	0,005	0,408
19	32	1,318	1,3	0,018	1,384
20	30	1,366	1,375	0,009	0,654
21	27	1,446	1,45	0,004	0,275
22	24	1,535	1,5	0,035	2,333
23	22	1,6	1,575	0,025	1,587
24	20	1,673	1,65	0,023	1,393
25	18	1,752	1,725	0,027	1,565
26	17	1,795	1,8	0,005	0,277
27	15	1,889	1,85	0,039	2,108
28	14	1,941	1,925	0,016	0,831
29	13	1,997	2	0,003	0,15
30	12	2,057	2,05	0,007	0,341
31	10	2,195	2,125	0,07	3,294
32	9	2,274	2,25	0,024	1,066
33	8	2,363	2,325	0,038	1,634
34	1	3,93	2,925	1,005	34,358

Dari Tabel 4.11 tersebut dapat diketahui selisih nilai ukur kadar beta karoten yang bisa dihasilkan oleh alat ini terhadap nilai kadar beta karoten sesungguhnya. Selisih terbesar yang bisa dihasilkan adalah sebesar 1,005 $\mu\text{g/ml}$ pada data ke 33, sedangkan selisih nilai yang dihasilkan oleh data lainnya (data ke-1 sampai data ke-32) maksimal hanya sebesar 0,038 $\mu\text{g/ml}$ pada saat alat mengukur kadar beta karoten sebesar 2,363 $\mu\text{g/ml} \approx 2,36 \mu\text{g/ml}$. Berdasarkan hasil analisis inilah sehingga ditentukan alat ini dirancang untuk range pengukuran kadar beta karoten antara 0 – 2,36 $\mu\text{g/ml}$.

Sedangkan untuk nilai resolusi alat ditentukan melalui perubahan terbesar kadar beta karoten yang bisa menghasilkan perubahan pada hasil perhitungan alat berdasarkan perubahan pada nilai data ADC. Dikarenakan pada perancangan alat ini digunakan 2 buah persamaan yaitu persamaan 4.11 dan 4.12, maka perubahan terbesar nilai kadar beta karoten untuk menghasilkan perubahan nilai ADC dipastikan terdapat pada range yang menggunakan persamaan eksponensial. Dan perubahan terbesar itu terjadi pada perubahan saat data ADC bernilai terkecil yaitu 8 menjadi 9. Sehingga nilai resolusi alat ini ditentukan sebagai berikut:

$$R = \frac{\Delta_K}{\Delta_{ADC}} \quad (4.13)$$

Dengan : R = Resolusi alat

Δ_K = perubahan kadar beta karoten terbesar

Δ_{ADC} = perubahan nilai ADC saat perubahan kadar beta karoten terbesar

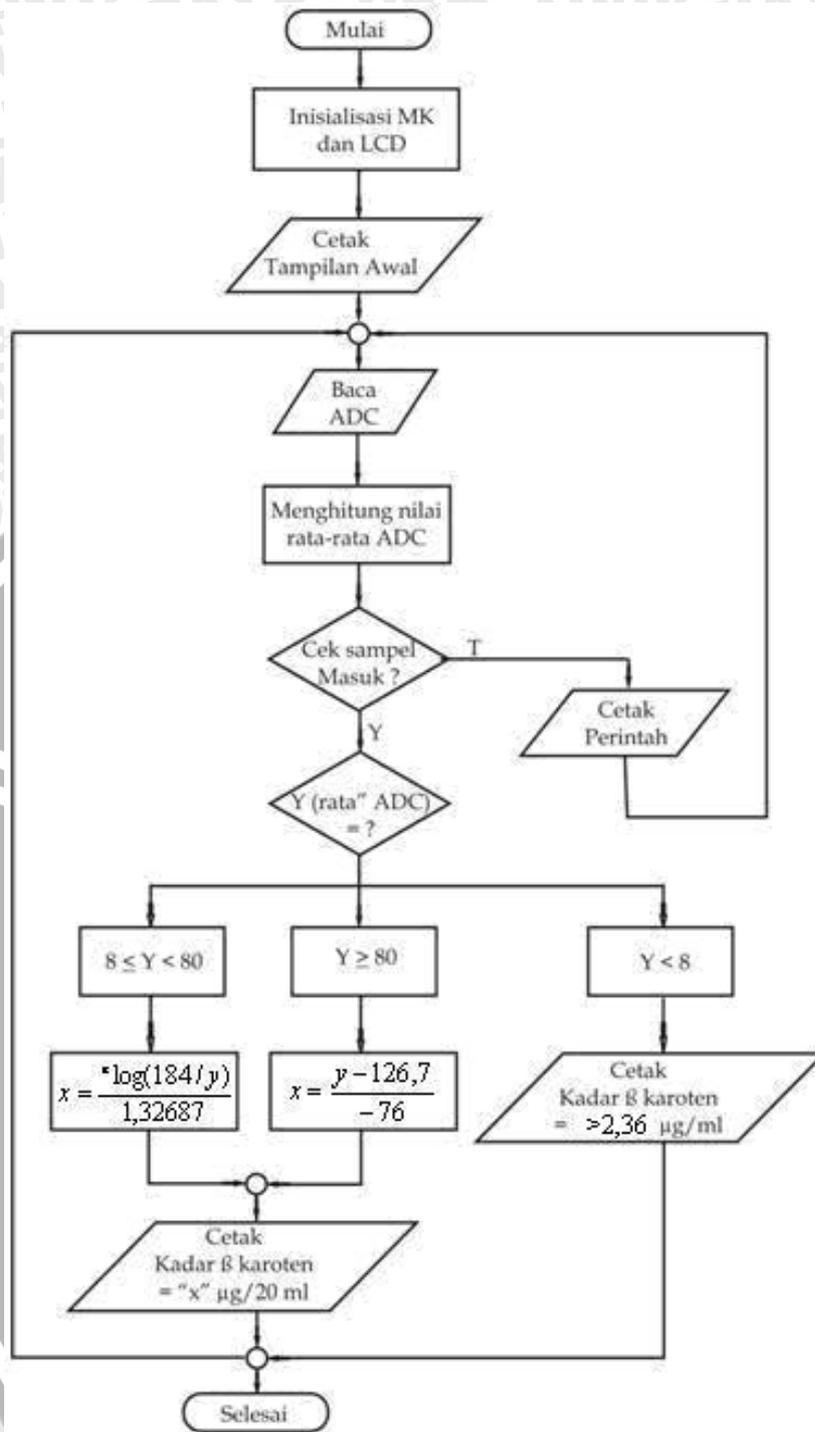
$$R = \frac{2,363 - 2,274}{9 - 8} = 0,089 \mu\text{g} / \text{ml} \approx 0,09 \mu\text{g} / \text{ml}$$

Berdasarkan perhitungan yang diperoleh dari persamaan 4.13, diperoleh nilai resolusi alat sebesar 0,09 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Sehingga alat ini dirancang untuk mengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng dengan range pengukuran antara 0 – 2,36 $\mu\text{g}/\text{ml}$ dengan resolusi alat sebesar 0,09 $\mu\text{g}/\text{ml}$.

4.5.2.4. Perancangan Program Utama Sistem

Diagram alir fungsi utama dalam perancangan alat ukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini ditunjukkan dalam Gambar 4.11. Proses berjalannya Program Utama dalam Gambar 4.11. adalah dimulai dari proses inisialisasi mikrokontroler dan LCD. Setelah proses inisialisasi tersebut, kemudian program akan menampilkan suatu tampilan awal pada LCD berupa kalimat “Alat Ukur Kadar β Karoten Dalam Minyak Goreng” dalam waktu beberapa detik.

Selanjutnya mikrokontroler akan membaca data hasil konversi ADC dengan resolusi ADC yang digunakan adalah sebesar 8 bit dan frekuensi sampling ADC sebesar 25 kHz. Setelah ADC mengkonversi 128 buah data ADC maka proses konversi ADC akan dihentikan, dan mikrokontroler akan menghitung nilai rata-rata dari 128 buah data ADC yang telah dikonversi tersebut. Perlu diketahui bahwa proses pencarian nilai rata-rata dari 128 buah data ADC ini bertujuan untuk memfilter data ADC tersebut dari noise yang dapat mengganggu data hasil pengukuran.



Gambar 4.11. Diagram Alir Program Utama.

Kemudian nilai rata-rata ADC tersebut akan dijadikan petunjuk apakah sampel minyak goreng sudah dimasukkan ke tempat cuplikan atau tidak. Apabila hasil perhitungan rata-rata ADC tersebut menunjukkan <127 maka itu merupakan tanda sampel telah dimasukkan. Apabila terdeteksi bahwa sampel belum masuk maka program akan memerintahkan LCD untuk menampilkan suatu perintah berupa kalimat “Masukkan Sampel Minyak Goreng!”. Akan tetapi apabila terdeteksi telah ada sampel

minyak goreng yang dimasukkan maka program akan memproses nilai rata-rata ADC tersebut melalui suatu operasi aritmatika agar bisa menunjukkan informasi tentang nilai kadar beta karoten yang terdapat dalam sampel minyak goreng yang diukur tersebut. Proses aritmatika tersebut menggunakan rumus dalam persamaan 4.12 dan 4.13. Apabila nilai rata-rata $ADC \geq 8$ dan < 80 maka digunakan persamaan 4.12 sebagai rumus. Sedangkan untuk nilai rata-rata $ADC \geq 80$ dan < 127 digunakan persamaan 4.13. Apabila nilai rata-rata $ADC < 8$ maka mikrokontroler akan langsung menampilkan informasi pada LCD berupa kalimat "Kadar beta karoten = $> 2,36 \mu\text{g/ml}$ ".

Kemudian dari perhitungan aritmatika tersebut akan dihasilkan nilai kadar beta karoten yang terkandung dalam sampel minyak goreng yang diukur. Selanjutnya mikrokontroler akan menampilkan nilai kadar beta karoten tersebut pada LCD sesuai nilai hasil perhitungan aritmatika tersebut. Setelah proses pengukuran berakhir, jalannya program akan kembali menuju proses awal program menuju proses pembacaan ADC.



BAB V

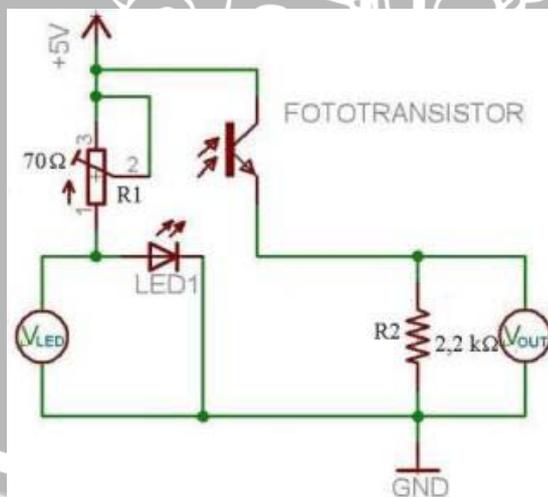
PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Untuk mengetahui unjuk kerja alat ukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini, maka diperlukan beberapa pengujian dan analisis terhadap data hasil pengujian tersebut. Pengujian tersebut meliputi pengujian perblok masing-masing bagian sistem dan juga pengujian keseluruhan sistem alat ukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini.

5.1. Pengujian Respon Pada Masing-masing Bagian Sistem

5.1.1. Pengujian Rangkaian Fotometri

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kerja rangkaian fotometri pada alat ini yang meliputi rangkaian sumber cahaya, sensor cahaya, dan rangkaian pengubah arus ke tegangan. Dalam pengujian ini akan diukur arus yang melewati LED sumber cahaya serta beda tegangan antara kutub katoda dan anoda LED pada saat alat sedang mengukur sampel atau tidak. Sedangkan untuk pengujian sensor cahaya dan rangkaian pengubah arus ke tegangan akan diukur besarnya tegangan output rangkaian tersebut untuk intensitas cahaya yang berbeda. Pengujian rangkaian fotometri ini ditunjukkan dalam Gambar 5.1. Sedangkan hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 5.1.



Gambar 5.1. Pengujian Rangkaian Fotometri

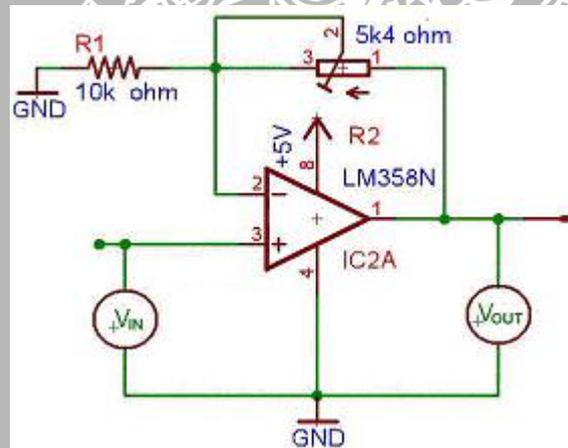
Tabel 5.1. Hasil Pengujian Rangkaian Fotometri

No.	Kondisi Rangkaian	V _{LED} (volt)	V _{OUT} (volt)
1	Saat tidak ada sampel	3,68	2,39
2	Saat ada sampel air putih	3,68	2,39
3	Saat cahaya terhalang semuanya	3,67	0
4	Ada sampel beta karoten pekat	3,67	0,014

Dalam pengujian ini diperoleh data yang menunjukkan bahwa tegangan di LED tidak menunjukkan perubahan yang signifikan pada saat terjadi perubahan kondisi sampel yang diukur atau terjadinya perubahan tegangan output sensor. Hal ini dapat diketahui bahwa rangkaian LED tidak terpengaruh oleh pembebanan yang terjadi pada rangkaian sensor cahaya. Dari pengujian ini diketahui pula bahwa nilai tegangan output maksimal rangkaian pengubah arus ke tegangan adalah sekitar 2,39 volt.

5.1.2. Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Pengujian rangkaian pengkondisi sinyal bertujuan untuk mengetahui apakah *range* keluaran rangkaian pengkondisi sinyal sesuai dengan range masukan yang diperbolehkan untuk ADC Mikrokontroler R8C/13 dan untuk mengetahui apakah keluaran RPS sesuai dengan gain penguatan yang diinginkan. Dalam pengujian ini akan diukur besarnya tegangan masukan dan tegangan keluaran RPS untuk kondisi keluaran sensor cahaya saat menerima intensitas cahaya maksimal dan minimal dari LED sumber cahaya. Pengujian rangkaian pengkondisi sinyal ditunjukkan dalam Gambar 5.2. Sedangkan hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 5.2.



Gambar 5.2. Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Tabel 5.2. Hasil Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal

No.	Pengukuran		Perhitungan		Kesalahan	
	V _{IN} (volt)	V _{OUT} (volt)	V _{IN} (volt)	V _{OUT} (volt)	V _{IN} (%)	V _{OUT} (%)
1	0	0,0032	0	0	0	~
2	0,014	0,024	0,014	0,02156	0	11,317
3	0,162	0,25	0,162	0,24948	0	0,208
4	0,313	0,478	0,313	0,48202	0	0,833
5	1,98	3,01	1,98	3,0492	0	1,285
6	2,35	3,58	2,35	3,619	0	1,077
7	2,39	3,65	2,39	3,6806	0	0,831
8	3,01	3,7	3,01	4,635	0	20,179
9	3,4	3,7	3,4	5,236	0	29,335

Dalam pengujian ini dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan antara data hasil pengukuran dengan data hasil perhitungan. Pada saat RPS diberi tegangan input 0 volt, output RPS menghasilkan tegangan sebesar 0,0032 volt. Dan pada saat diberi input 0,014 volt, tegangan output RPS menunjukkan nilai 0,024 volt. Kedua pengukuran tersebut hasil yang didapatkan tidak sesuai dengan perhitungan dan terjadi *error* lebih dari 10 %. Sedangkan untuk nilai input 3,01 volt dan 3,4 volt RPS menghasilkan nilai output yang sama untuk kedua nilai masukan tersebut yaitu sebesar 3,7 volt sehingga dihasilkan *error* kesalahan sebesar lebih dari 20 %.

Nilai *error* yang cukup besar berkisar antara >10% dan >20% tersebut disebabkan karena kinerja Op. Amp. LM358N yang tidak bisa menghasilkan tegangan output dengan nilai yang mendekati nilai tegangan catunya ($V_{cc} = 5$ volt dan $V_{ss} = 0$ volt). Sehingga menyebabkan Op Amp hanya bisa menghasilkan tegangan output yang sesuai dengan gain penguatan pada range tegangan tertentu saja yaitu antara 0,25 – 3,7 volt. Hal tersebut dibuktikan dari hasil pengukuran dengan tegangan input antara 0,162 – 2,39 volt yang menghasilkan tegangan output antara 0,25 – 3,7 volt memiliki prosentase kesalahan hanya berkisar $\pm 1\%$ terhadap hasil perhitungan.

5.1.3. Pengujian Sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD 2x16 bit

Pengujian rangkaian sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD 2x16 bit ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem pengolah dan penampil data hasil pengukuran tersebut dapat bekerja sesuai yang diharapkan baik dari segi *hardware* ataupun *software* programnya. Dalam pengujian ini akan diberikan program untuk proses kalibrasi yang telah dibahas pada Sub Bab 4.5.1 ke dalam mikrokontroler. Program tersebut meliputi program operasi ADC, operasi aritmatika, dan juga operasi menampilkan hasil perhitungan pada LCD. Dalam pengujian ini nilai x yang ditampilkan LCD adalah nilai rata-rata dari 128 data hasil konversi ADC dan nilai $y = (x-100)*5$. Hasil pengujian ini ditunjukkan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Pengujian Sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD 2x16 bit

No.	VIN ADC (volt)	Tampilan LCD		Hasil Perhitungan			Kesalahan (%)
		nilai x	nilai y	nilai x (thdp VIN ADC)	Selisih dengan x LCD	nilai y (thdp x LCD)	
1	0,0012	0	-500	0	0	-500	0
2	0,943	47	-265	47	0	-265	0
3	1,830	93	-35	93	0	-35	0
4	2,56	130	150	130	0	150	0
5	3,63	184	420	184	0	420	0

Dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa nilai x yang dihasilkan program untuk setiap tegangan input sesuai dengan nilai yang diperoleh dari hasil perhitungan. Begitu pula nilai y antara hasil pengujian dan hasil perhitungan tidak terjadi perbedaan. Sehingga dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem Mikrokontroler R8C/13 dan LCD 2x16 bit dapat beroperasi sesuai dengan yang diharapkan.

5.2. Pengujian Akhir Keseluruhan Sistem

Pengujian ini untuk mengetahui apakah alat ini sudah dapat beroperasi sesuai yang diharapkan yaitu sebagai alat yang dapat mengukur kadar beta karoten yang terdapat dalam suatu minyak goreng. Selain itu dalam pengujian ini juga akan dilihat lebih lanjut tingkat ketelitian, keakuratan, dan kestabilan alat pengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini.

Cara yang dilakukan dalam pengujian ini adalah dengan melakukan kalibrasi terhadap alat ini secara berulang-ulang dalam waktu yang berbeda. Kalibrasi tersebut dilakukan dengan cara mengukur kadar beberapa jenis minyak goreng kemasan dan dicatat hasil pengukuran yang ditampilkan oleh alat ini. Kemudian kalibrasi tersebut dilakukan lagi dengan cara mengukur kadar beta karoten sampel minyak goreng yang sama tersebut pada waktu yang berbeda misalnya setelah selang waktu beberapa jam atau dilakukan di keesokan harinya. Sehingga dengan cara seperti ini bisa didapatkan beberapa nilai hasil pengukuran untuk satu jenis sampel minyak goreng yang sama.

Sedangkan program yang digunakan dalam pengujian ini adalah program utama sistem yang telah dibahas dalam Sub Bab 4.5.2 yaitu program utama yang mengatur sistem kerja alat dalam mengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng.

Hasil pengujian ini ditunjukkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Hasil pengujian akhir sistem

No.	Nama Minyak Goreng	Tampilan LCD		
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III
1	Bimoli	Kadar β Karoten = 0,52 ug/ml	Kadar β Karoten = 0,54 ug/ml	Kadar β Karoten = 0,52 ug/ml
2	Tropical	Kadar β Karoten = 0,30 ug/ml	Kadar β Karoten = 0,32 ug/ml	Kadar β Karoten = 0,30 ug/ml
3	Hemart	Kadar β Karoten = 0,46 ug/ml	Kadar β Karoten = 0,46 ug/ml	Kadar β Karoten = 0,48 ug/ml
4	Tidak ada sampel	Masukkan Sampel Minyak Goreng!	Masukkan Sampel Minyak Goreng!	Masukkan Sampel Minyak Goreng!
5	Minyak kadar β Karoten tinggi	Kadar β Karoten = >2,36 ug/ml	Kadar β Karoten = >2,36 ug/ml	Kadar β Karoten = >2,36 ug/ml

Dari hasil pengujian dalam Tabel 5.4 tersebut, dapat diketahui bahwa untuk ketiga sampel minyak goreng terdapat perbedaan antara data pada pengujian I bila dibandingkan dengan data pada pengujian II dan III. Akan tetapi perbedaan itu relatif kecil dan tidak terlalu signifikan untuk mempengaruhi hasil pengukuran. Perbedaan hasil pengukuran itu sendiri dapat disebabkan oleh perbedaan kondisi lingkungan pada masing-masing pengujian, mengingat ketiga pengujian itu dilakukan pada waktu yang berbeda.

Sedangkan pada saat pengujian tanpa sampel minyak goreng, LCD akan menampilkan kalimat “Masukkan Sampel Minyak Goreng!”. Dan pada saat kadar beta karoten sangat tinggi ($>2,36 \mu\text{g/ml}$) maka LCD akan menampilkan “Kadar β Karoten = $>2,36 \mu\text{g/ml}$ ”. Kedua kondisi tampilan alat ini sesuai dengan yang diharapkan, sehingga melalui pengujian ini dapat dipastikan alat telah dapat beroperasi dengan baik sesuai yang diharapkan.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

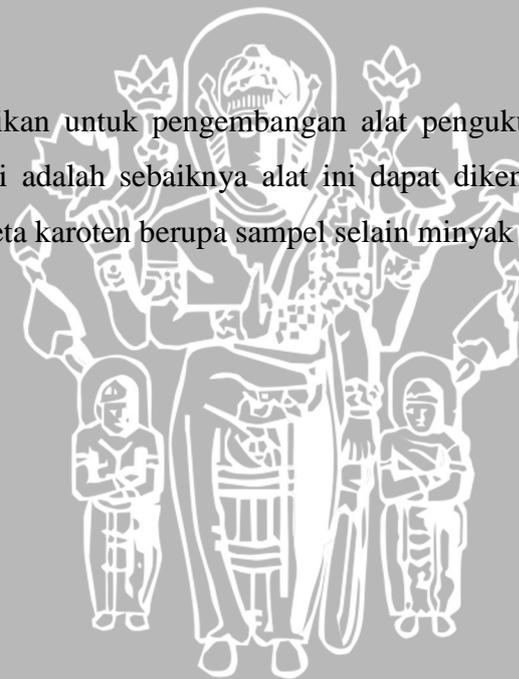
6.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian tiap blok rangkaian dan pengujian sistem secara keseluruhan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan:

- Alat ini hanya dapat mengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng dengan range antara 0 – 2,36 $\mu\text{g/ml}$.
- Alat ini hanya dapat digunakan untuk mengukur kadar beta karoten yang terdapat dalam sampel minyak goreng saja.
- Alat ukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini memiliki resolusi sebesar 0,09 $\mu\text{g/ml}$.

6.2. Saran

Saran yang diberikan untuk pengembangan alat pengukur kadar beta karoten dalam minyak goreng ini adalah sebaiknya alat ini dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai alat ukur kadar beta karoten berupa sampel selain minyak goreng.



DAFTAR PUSTAKA

- Amrinola, Wiwit. 2008. *Minyak Goreng Kaya Manfaat*. <http://www.swarakita-manado.com>. Tanggal akses 19 November 2008.
- Clark, Jim. 2007. *Spektra Serapan UV-Tampak*. <http://www.chem-is-try.org>. Tanggal akses 19 November 2008.
- Eryanto, Donny. 2007. *Modul Workshop Dasar – Buku Modul*. Renesas Promo Indonesia. Jakarta.
- Febrian, Eko. 2008. *Beta Karoten, Jauhkan Tubuh dari Kanker*. <http://www.conectique.com>. Tanggal akses 19 November 2008.
- He, Yinhua. 2005. *Technical Data Sheet 5 mm Phototransistor T-1*. Everlight Electronic. Taipei.
- Muchtadi, Deddy. 2005. *Memilih Minyak Goreng Yang Baik*. <http://web.ipb.ac.id>. Tanggal akses 19 November 2008.
- Renesas. 2006. *R8C/13 Group Single Chip 16 Bit CMOS Microcomputer*. <http://www.renesas.com>. Tanggal akses 19 November 2008.
- ST Microelectronics. *Low Power Dual Operational Amplifiers*. <http://www.st.com>. Tanggal akses 23 Maret 2009.
- Sulistiyanto, Nanang. 2008. *Pemrograman Mikrokontroler R8C/13*. Elex Media Komputindo. Jakarta.
- Topway. 2006. *Specification Model LMB162A*. <http://www.DataSheet4U.com>. Tanggal akses 23 Maret 2009.
- Wah Wang Optoelectronic. 2006. *Wah Wang Data Sheet for 5mm Super Bright Blue LED*. <http://www.wahwang.com>. Tanggal akses 20 Januari 2009.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**LISTING PROGRAM DALAM
PEMROGRAMAN MIKROKONTROLER**



Program 1. Isi file program aplikasi lcd_4_bit.h

```
//definisi pin untuk LCD:
#define LCD_ON PIN45
#define LCD_DIR_ON ARAH_PIN45
#define LCD_RS PIN01
#define LCD_RW PIN02
#define LCD_E PIN03
#define LCD_DIR_RS ARAH_PIN01
#define LCD_DIR_RW ARAH_PIN02
#define LCD_DIR_E ARAH_PIN03
#define LCD_D4 PIN04
#define LCD_D5 PIN05
#define LCD_D6 PIN06
#define LCD_D7 PIN07
#define LCD_DIR_D4 ARAH_PIN04
#define LCD_DIR_D5 ARAH_PIN05
#define LCD_DIR_D6 ARAH_PIN06
#define LCD_DIR_D7 ARAH_PIN07
```

```
//prototipe fungsi:
void lcd_tunggu(void);
void lcd_tunggu_lama(void);
void lcd_kirim_perintah_8_bit(char rs, char rw, char data);
void lcd_kirim_perintah(char rs, char rw, char data);
void lcd_kirim_karakter(char data);
void lcd_kirim(char *data);
void lcd_hapus_layar(void);
void lcd_posisi_awal(void);
void lcd_posisi_baris_1(char x);
void lcd_posisi_baris_2(char x);
void lcd_hidup_tanpa_kursor(void);
void lcd_blank(void);
void lcd_mati(void);
void lcd_hidup(void);
void lcd_inisialisasi(void);
void lcd_kirim_bulat(int x);
```

Program 2. Isi file program aplikasi lcd_4_bit.c

```
void lcd_tunggu(void)
{
    int k;
    for(k = 0; k < 1500; k++);
}
```

```
void lcd_tunggu_lama(void)
{
    long k;
    for(k = 0; k < 50000; k++);
}
```

```
void lcd_kirim_perintah_8_bit(char rs, char rw, char data)
{
    union byte_def data_terima;

    data_terima.byte = data;
    LCD_RW = rw;
```

```

LCD_RS = rs;
if(rw == 0)
{
    LCD_DIR_D4 = 1;
    LCD_DIR_D5 = 1;
    LCD_DIR_D6 = 1;
    LCD_DIR_D7 = 1;
}

```

```

LCD_D4 = data_terima.bit.b0;
LCD_D5 = data_terima.bit.b1;
LCD_D6 = data_terima.bit.b2;
LCD_D7 = data_terima.bit.b3;

```

```

LCD_E = 0;
LCD_E = 1;
lcd_tunggu();
LCD_E = 0;

```

```

LCD_DIR_D4 = 0;
LCD_DIR_D5 = 0;
LCD_DIR_D6 = 0;
LCD_DIR_D7 = 0;
}

```

```

void lcd_kirim_perintah(char rs, char rw, char data)

```

```

{
    union byte_def data_terima;

```

```

    data_terima.byte = data;
    LCD_RW = rw;
    LCD_RS = rs;
    if(rw == 0)
    {
        LCD_DIR_D4 = 1;
        LCD_DIR_D5 = 1;
        LCD_DIR_D6 = 1;
        LCD_DIR_D7 = 1;
    }

```

```

    LCD_D4 = data_terima.bit.b4;
    LCD_D5 = data_terima.bit.b5;
    LCD_D6 = data_terima.bit.b6;
    LCD_D7 = data_terima.bit.b7;

```

```

    LCD_E = 0;
    LCD_E = 1;
    lcd_tunggu();
    LCD_E = 0;
    lcd_tunggu();

```

```

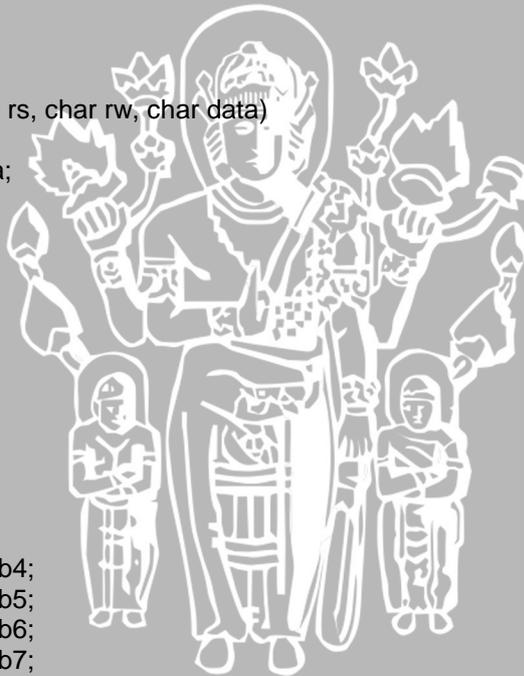
    LCD_D4 = data_terima.bit.b0;
    LCD_D5 = data_terima.bit.b1;
    LCD_D6 = data_terima.bit.b2;
    LCD_D7 = data_terima.bit.b3;

```

```

    LCD_E = 0;
    LCD_E = 1;
    lcd_tunggu();
    LCD_E = 0;

```



```
lcd_tunggu();

LCD_DIR_D4 = 0;
LCD_DIR_D5 = 0;
LCD_DIR_D6 = 0;
LCD_DIR_D7 = 0;
}

void lcd_kirim_karakter(char data)
{
    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b00000110); //mode entri
    lcd_kirim_perintah(1, 0, data); //tulis data
}

void lcd_kirim(char *data)
{
    char k = 0, kode;

    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b00000110); //mode entri

    kode = data[k]; //baca data
    while(kode != 0)
    {
        lcd_kirim_perintah(1, 0, kode); //tulis data ke LCD
        k++;
        kode = data[k]; //baca data berikutnya
    }
}

void lcd_hapus_layar(void)
{
    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b00000001); //clear
}

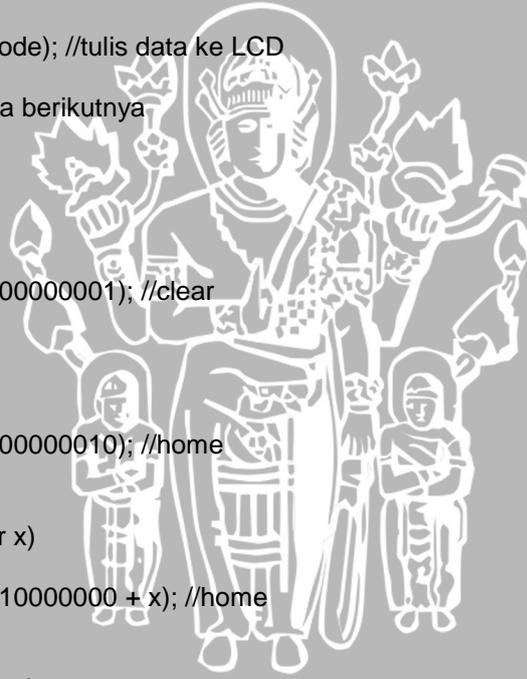
void lcd_posisi_awal(void)
{
    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b00000010); //home
}

void lcd_posisi_baris_1(char x)
{
    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b10000000 + x); //home
}

void lcd_posisi_baris_2(char x)
{
    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b11000000 + x); //home
}

void lcd_hidup_tanpa_kursor(void)
{
    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b00001100);
}

void lcd_blank(void)
{
    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b00001000);
}
```



```

void lcd_mati(void)
{
    LCD_ON = 1;
}

void lcd_hidup(void)
{
    LCD_ON = 0;
}

void lcd_inisialisasi(void)
{
    //inisialisasi port:
    LCD_DIR_ON = 1;
    LCD_ON = 0; //aktif rendah

    LCD_DIR_D4 = 0;
    LCD_DIR_D5 = 0;
    LCD_DIR_D6 = 0;
    LCD_DIR_D7 = 0;

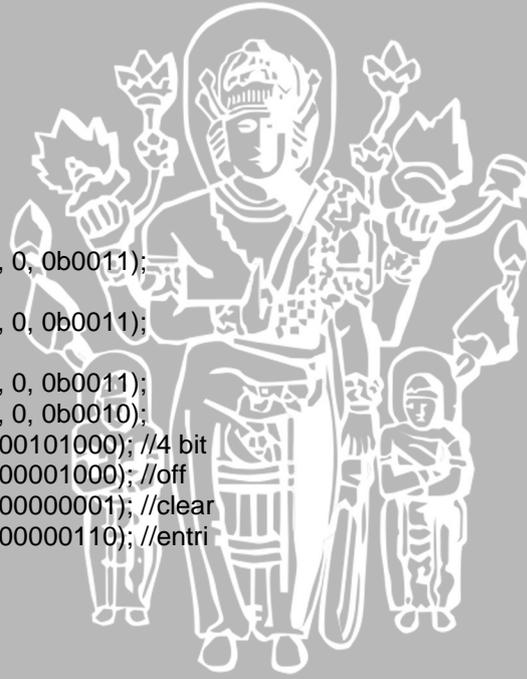
    LCD_DIR_E = 1;
    LCD_E = 0;

    LCD_DIR_RW = 1;
    LCD_RW = 0;
    LCD_DIR_RS = 1;

    //inisialisasi mode 4 bit:
    lcd_tunggu_lama();
    lcd_kirim_perintah_8_bit(0, 0, 0b0011);
    lcd_tunggu_lama();
    lcd_kirim_perintah_8_bit(0, 0, 0b0011);
    lcd_tunggu_lama();
    lcd_kirim_perintah_8_bit(0, 0, 0b0011);
    lcd_kirim_perintah_8_bit(0, 0, 0b0010);
    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b00101000); //4 bit
    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b00001000); //off
    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b00000001); //clear
    lcd_kirim_perintah(0, 0, 0b00000110); //entri
}

void lcd_kirim_bulat(int x)
{
    char bil1, bil2, bil3, bil4;
    //jika diperlukan, beri tanda negatif:
    if(x < 0)
    {
        lcd_kirim_karakter('-');
        x = -x;
    }
    //hitung masing-masing digit:
    bil1 = x/10000; // puluhan ribu
    x = x - 10000*bil1;
    bil2 = x/1000; // ribuan
    x = x-1000*bil2;
    bil3 = x/100; // ratusan
    x = x - 100*bil3;
    bil4 = x/10; // puluhan
    x = x - 10*bil4; // satuan

```



```
//kirim masing-masing digit:
if(bil1 != 0)
    {lcd_kirim_karakter(bil1 + 48);}
if(bil1 != 0 | bil2 != 0)
    {lcd_kirim_karakter(bil2 + 48);}
if(bil1 != 0 | bil2 != 0 | bil3 != 0)
    {lcd_kirim_karakter(bil3 + 48);}
if(bil1 != 0 | bil2 != 0 | bil3 != 0 | bil4 != 0)
    {lcd_kirim_karakter(bil4 + 48);}
lcd_kirim_karakter(x + 48);
if(ti_u1c1 == 1) u1tb = 0;
}
```

Program 3. Listing Program Untuk Proses Kalibrasi

```
#include "..\..\pustaka\sfr_r813.h"
#include "..\..\pustaka\seting_clock.h"
#include "..\..\pustaka\seting_port.h"
#include "..\..\pustaka\seting_adc.h"
#include "..\..\pustaka\seting_timer_x.h"
#include "..\..\pustaka\seting_interupsi.h"
#include "..\..\aplikasi\lcd_4_bit.h"
#include "..\..\aplikasi\lcd_4_bit.c"

long int x = 0;
long int y = 0;
long int nilai = 0;
int b = 0;

void tunggu_adc_stabil(void)
{
    char k = 200;
    while(k != 0) k--;
}

RUTIN_INTERUPSI_TMRX(tampilkan_nilai_konversi);
void tampilkan_nilai_konversi(void)
{
    PIN17 = ~PIN17; //indikator aktivitas konversi
    nilai = nilai + ad;
    b++;
    if (b==128)
    {
        ADC_KONVERSI_MATI;
        x = (nilai/128);
        y = (x-100)*5;
        //tampilan permanen LCD:
        lcd_posisi_baris_1(0);
        lcd_kirim("Nilai x = ");
        lcd_kirim_bulat(x);
        lcd_kirim(" ");
        lcd_posisi_baris_2(0);
        lcd_kirim("Nilai y = ");
        lcd_kirim_bulat(y);
        lcd_kirim(" ");
        b = 0;
        nilai = 0;
        x = 0;
        y = 0;
    }
}
```



```

        ADC_KONVERSI_AKTIF;
    }
}

void main (void)
{
    long k;
    //inisialisasi clock:
    CLOCK_SKALA_1;
    CLOCK_EKSTERNAL;
    //inisialisasi lcd:
    lcd_inisialisasi();
    lcd_hidup_tanpa_kursor();
    //inisialisasi port:
    ARAH_PIN17 = 1;
    PIN17 = 0;
    //inisialisasi adc:
    ADC_KONVERSI_KONTINYU;
    ADC_8_BIT;
    ADC_CLOCK_F2;
    ADC_PENCUPLIK_AKTIF;
    ADC_ACUAN_AKTIF;
    ADC_KANAL10;
    tunggu_adc_stabil(); //tunggu ADC stabil
    //inisialisasi timer x:
    TIMER_X_PENGUKUR_SELANG_WAKTU;
    TIMER_X_CLOCK_F2;
    tx = 24;
    prex = 15;
    //inisialisasi interupsi:
    LEVEL_INTERUPSI_TMRX(4);
    AKTIFKAN_SELURUH_INTERUPSI;
    //pengaktifan:
    TIMER_X_PENCACAHAN_AKTIF;
    ADC_KONVERSI_AKTIF;
}

```

Lampiran 4. Listing Program Utama Alat

```

#include "..\..\pustaka\sfr_r813.h"
#include "..\..\pustaka\seting_clock.h"
#include "..\..\pustaka\seting_port.h"
#include "..\..\pustaka\seting_adc.h"
#include "..\..\pustaka\seting_timer_x.h"
#include "..\..\pustaka\seting_interupsi.h"
#include "..\..\aplikasi\lcd_4_bit.h"
#include "..\..\aplikasi\lcd_4_bit.c"
#include <math.h>

```

```

char k_kadar = 0;
long int kadar = 0;
long int x;
long int y;
float a;
float b;
long int d;
int cek_sampel;
long int l;

```

```

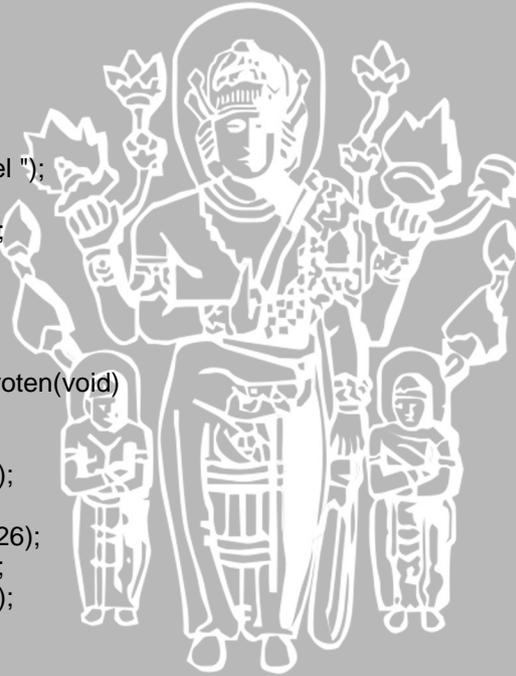
void tunggu_adc_stabil(void)
{
    char k;
    for(k = 200; k != 0; k--);
}

void tampilan_awal(void)
{
    //tampilan awal LCD:
    lcd_posisi_baris_1(0);
    lcd_kirim("Alat Ukur Kadar ");
    lcd_posisi_baris_2(0);
    lcd_kirim_karakter(226);
    lcd_kirim(" Karoten dalam ");
    for(l = 1000000; l != 0; l--);
    lcd_posisi_baris_1(0);
    lcd_kirim_karakter(226);
    lcd_kirim(" Karoten dalam ");
    lcd_posisi_baris_2(0);
    lcd_kirim("Minyak Goreng. ");
    for(l = 1000000; l != 0; l--);
}

void tampilan_perintah(void)
{
    lcd_hapus_layar();
    lcd_posisi_baris_1(0);
    lcd_kirim("Masukkan sampel ");
    lcd_posisi_baris_2(0);
    lcd_kirim("minyak goreng!");
    for(l = 1000000; l != 0; l--);
    //tampilan perintah
}

void tampilan_ukur_beta_karoten(void)
{
    //tampilan ukur LCD:
    lcd_posisi_baris_1(0);
    lcd_kirim("Kadar ");
    lcd_kirim_karakter(226);
    lcd_kirim(" Karoten");
    lcd_posisi_baris_2(0);
    lcd_kirim("= ");
    if(y < 8)
    {
        lcd_posisi_baris_2(2);
        lcd_kirim(">2,36");
    }
    else if ((y >= 8)&&(y < 80))
    {
        lcd_kirim(" ");
        a = 184/y;
        b = log(a)/1.32687;
        x = b;
        d = (b-x)*100;
        lcd_posisi_baris_2(2);
        lcd_kirim_bulat(b);
        lcd_kirim_karakter(',');
    }
}

```



```

    if (d<= 9)
    {
        lcd_kirim("0");
    }
    lcd_kirim_bulat(d);
}
else
{
    b = ((y-126.7)/(-76));
    x = b;
    d = (b-x)*100;
    lcd_kirim_bulat(b);
    lcd_kirim_karakter(',');
    if (d<= 9)
    {
        lcd_kirim("0");
    }
    lcd_kirim_bulat(d);
}
lcd_kirim(" ");
lcd_kirim_karakter(228);
lcd_kirim("g/ml");
lcd_kirim(" ");
x = 0;
a = 0;
b = 0;
d = 0;
}

void cek_ada_sampel(void)
{
    if (y<127)
    {
        cek_sampel = 1;
    }
    else
    {
        cek_sampel = 0;
    }
}

RUTIN_INTERUPSI_TMRX(hitung_kadar_rata_rata);
void hitung_kadar_rata_rata(void)
{
    PIN17 = ~PIN17; //indikator aktivitas
    kadar = kadar + ad;
    k_kadar++;
    if (k_kadar==128)
    {
        ADC_KONVERSI_MATI;
        y = (kadar/128);
        cek_ada_sampel();
        if(cek_sampel==0)
        {
            tampilan_perintah();
        }
        else
        {
            tampilan_ukur_beta_karoten();
        }
    }
}

```



```
y = 0;
k_kadar = 0;
kadar = 0;
ADC_KONVERSI_AKTIF;
}
}

void main (void)
{
    long k;
    //inisialisasi clock:
    CLOCK_SKALA_1;
    CLOCK_EKSTERNAL;
    //inisialisasi lcd:
    lcd_inisialisasi();
    lcd_hidup_tanpa_kursor();
    //inisialisasi port:
    ARAH_PIN17 = 1;
    PIN17 = 0;
    //inisialisasi adc:
    ADC_KONVERSI_KONTINYU;
    ADC_8_BIT;
    ADC_CLOCK_F2;
    ADC_PENCUPLIK_AKTIF;
    ADC_ACUAN_AKTIF;
    ADC_KANAL10;
    tunggu_adc_stabil(); //tunggu ADC stabil
    //inisialisasi timer x:
    TIMER_X_PENGUKUR_SELANG_WAKTU;
    TIMER_X_CLOCK_F2;
    tx = 24;
    prex = 15;
    tampilan_awal();
    //inisialisasi interupsi:
    LEVEL_INTERUPSU_TMRX(4);
    AKTIFKAN_SELURUH_INTERUPSU;
    //pengaktifan:
    TIMER_X_PENCACAHAN_AKTIF;
    ADC_KONVERSI_AKTIF;
}
```

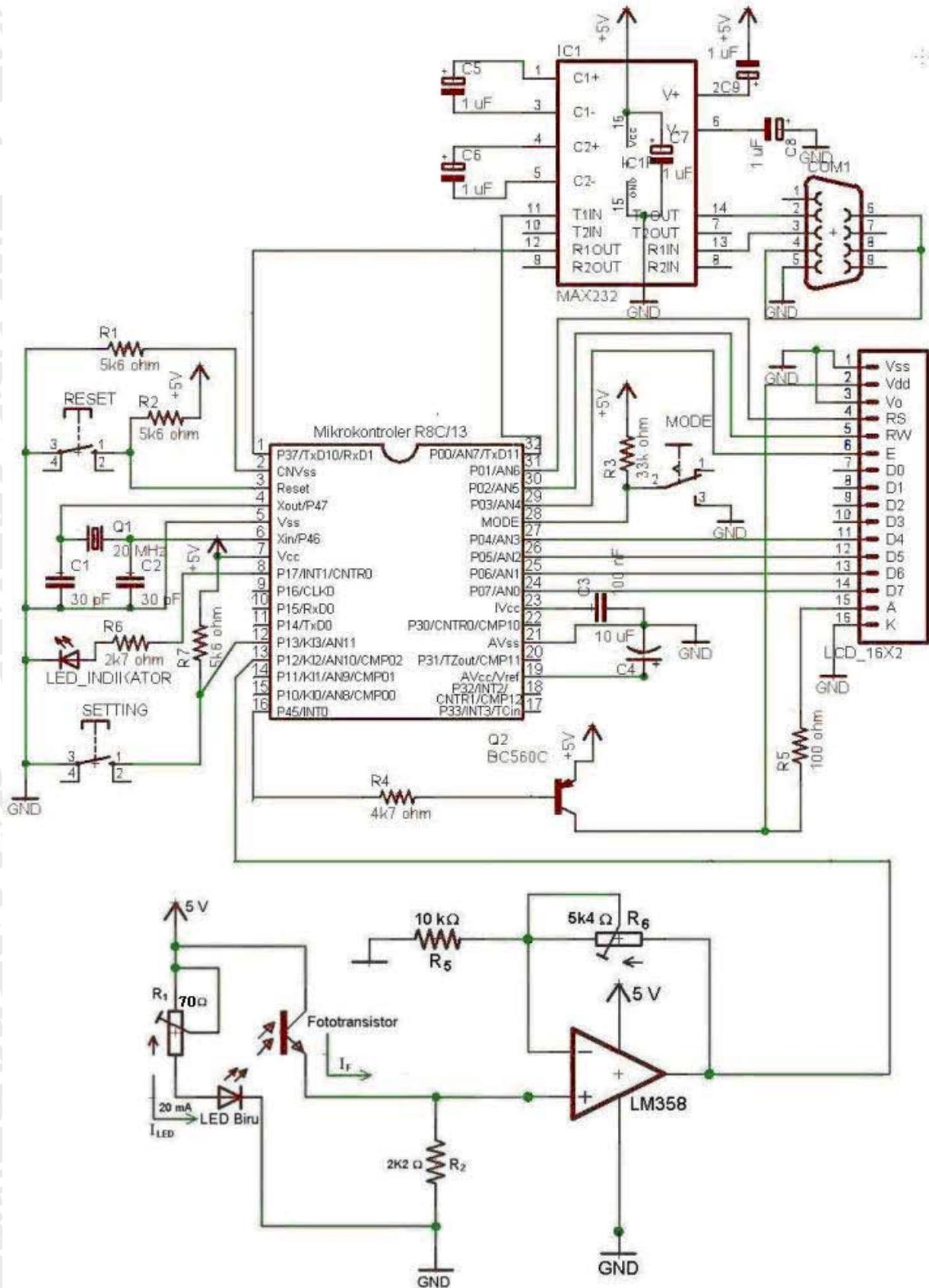


UNIVERSITAS BRAWIJAYA

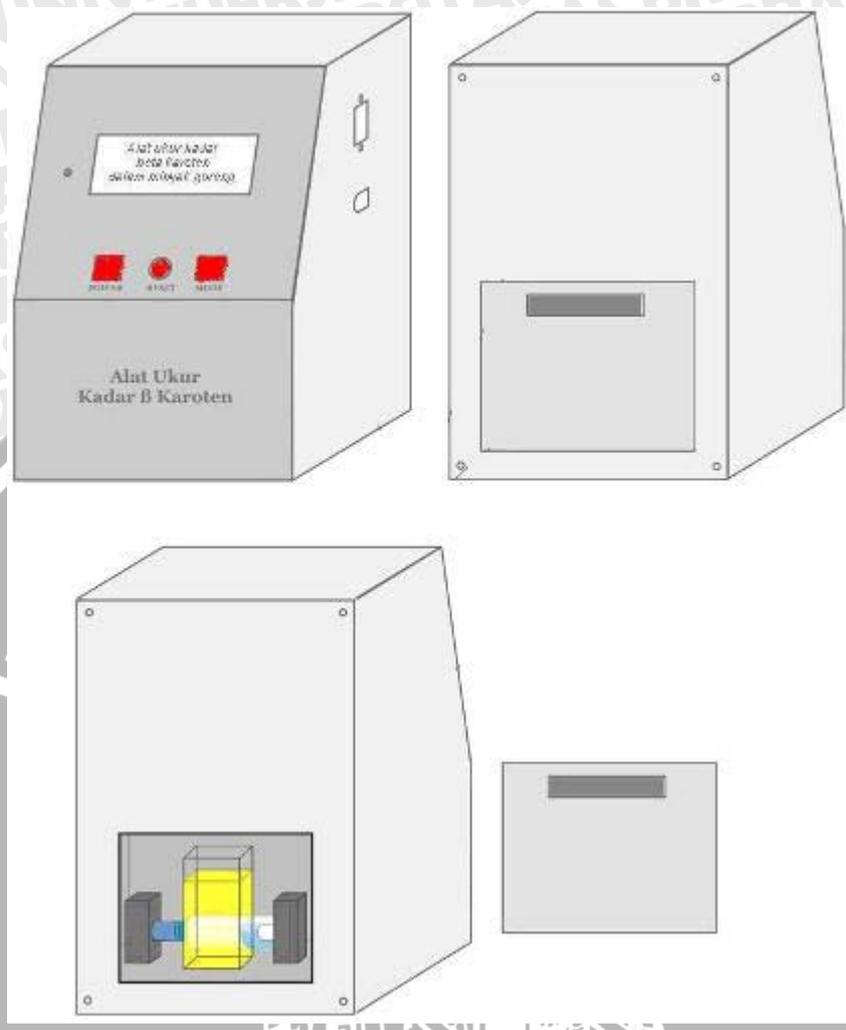
**GAMBAR RANGKAIAN
KESELURUHAN DAN FOTO ALAT**



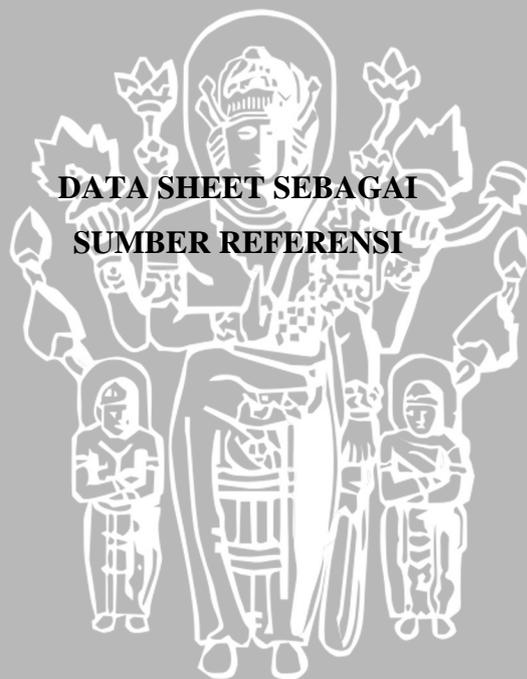
Gambar Rangkaian Alat Secara Keseluruhan.



Gambar dan Foto Alat Ukur Kadar β Karoten Dalam Minyak Goreng



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**DATA SHEET SEBAGAI
SUMBER REFERENSI**

4. OPERATING PRINCIPLES & METHODES

4.1 Register

The LCD Controller has two 8-bit registers, the Instruction register (IR), and the data register (DR).

The IR is a write only register to store instruction codes like Display Clear or Cursor Shift as well as addresses for the Display Data RAM (DD RAM) or the Character Generator RAM (CG RAM).

The DR is a read/write register used for temporarily storing data to be read/written to/from the DD RAM or CG RAM. Data written into the DR is automatically written into DD RAM or CG RAM by an internal operation of the display controller.

The DR is also used to store data when reading out data from DD RAM or CG RAM to CG RAM by an internal operation of the display controller.

When address information is written into IR, data is read out from DD RAM or CG RAM to DR by an internal operation. Data transfer is then completed by reading the DR.

After performing a read from the DR, data in the DD RAM or CG RAM at the next address is sent to the DR for the next read cycle. The register select (RS) signal determines which of these two registers is selected.

Table 4.1 Selection of Registers

RS	R/W	Function
0	0	Instruction Write operation (MPU writes instruction code to IR)
0	1	Read Busy flag (DB7) and Address Counter (DB0 ~ DB6)
1	0	Data Write operation (MPU writes data to DR)
1	1	Data Read operation (MPU reads data from DR)

4.2 Busy Flag (BF)

When the busy flag is high or "1" the module is performing an internal operation and the next instruction will not be accepted. The busy flag outputs to DB7 when RS = 0 and a read operation is performed. The next instruction must not be written until ensuring that the busy flag is low or "0".

4.3 Address Counter (AC)

The address counter (AC) assigns addresses to the DD RAM and the CG RAM. When the address of an instruction is written into the IR, the address information is sent from the IR to the AC. The selection of either DD RAM or CG RAM is also determined concurrently by the same instruction. After writing into or reading from the DD RAM or CG RAM the address counter (AC) is automatically increased by 1 or decreased by 1 (determined by the I/D bit in the "Entry Mode Set" command). AC contents are output to DB0 ~ DB6 when RS = 0 and a read operation is performed.

Table 4.3 CGROM Character Code Table

Hex "AA" "55"	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
CG RAM (1)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0001 (2)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0010 (3)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0011 (4)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0100 (5)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0101 (6)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0110 (7)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0111 (8)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1000 (1)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1001 (2)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1010 (3)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1011 (4)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1100 (5)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1101 (6)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1110 (7)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1111 (8)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

5. MPU INTERFACE

5.1 General

(1). The LCD controller can be operated in either 4 or 8 bits mode. Instructions/Data are written to the display using the signal timing characteristics found in section 3.2.

When operating in 4-bit mode, data is transferred in two 4-bit operations using data bits DB4-DB7. DB0-DB3 are not used. When using 4-bit mode, data is transferred twice before the instruction cycle is complete. The higher order 4 bits (contents of DB4-DB7 when interface data is 8 bits long) is transferred first, then the lower order 4 bits (contents of DB0-DB3 when interface data is 8 bits long) is transferred. Check the busy flag after 4-bit data has been transferred twice (one instruction). A 4-bit two operation will then transfer the busy flag and address counter data.

(2). When operating in 8-bit mode, data is transferred using the full 8-bit bus DB0-DB7.

5.2 Initialization

5.2.1 Initialization by the Internal Reset Circuit

The display can be initialized using the internal reset circuit when the power is turned on. The following instructions are executed in initialization. The busy flag (BF) is kept in busy state until initialization ends. The busy flag will go active 10ms after Vcc rises to 4.5V.

(1). Display Clear

(2). Function set:

DL = 1 : 8 bit interface operation

N = 0 : 1 - line display

F = 0 : 5 x 7 dot character font

(3). Display ON/OFF Control:

D = 0 : Display OFF

C = 0 : Cursor OFF

B = 0 : Blink OFF

(4). Entry Mode Set

I/D = 1 : +1 (Increment Mode)

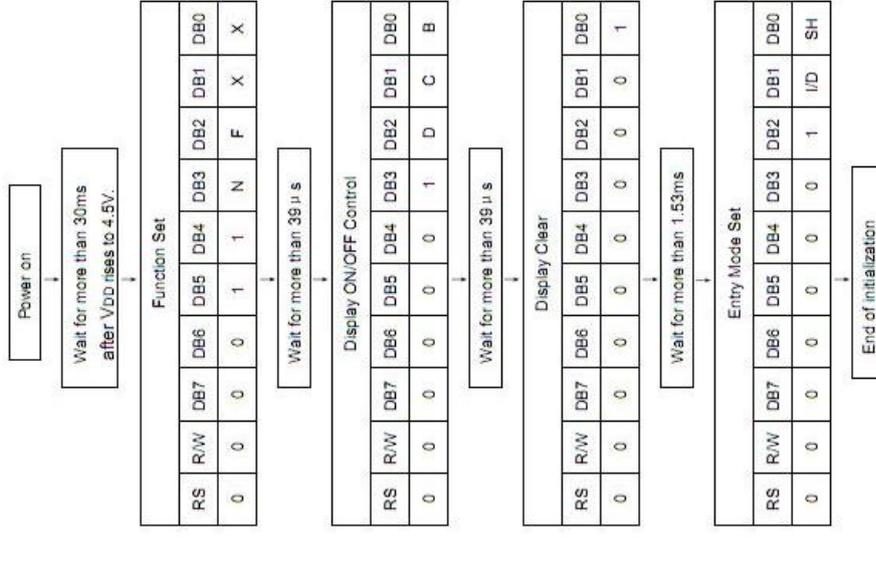
S = 0 : No Display Shift operation

If the internal power supply reset timing cannot be met ($0.1\text{ms} < t_{\text{rc}} < 10\text{ms}$), the internal reset circuit will not operate normally and initialization will not be performed. In this case, the display must be initialized by software.

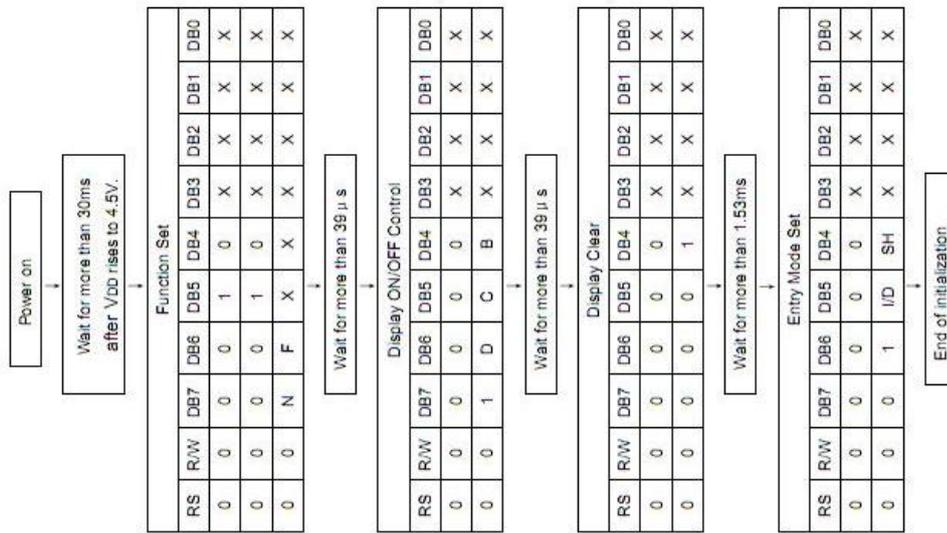
5.2.2 Software Initialization

Although software initialization is not mandatory, it is recommended that this procedure always be performed. When the internal power supply reset timing cannot be met, then the display must be initialized using one of the following procedures.

(1). 8-Bit Initialization:



(2). 4-Bit Initialization:



6. DISPLAY CONTROL INSTRUCTION

Table 6.1 Instructions

Instruction	Instruction code										Description	Execution time (f _{osc} =270KHz)	
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0			
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Clears entire display and sets DDRAM address to 00h.	1.53ms
Return home	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	Sets DDRAM address to 00h in AC and returns shifted display to its original position. The contents of DDRAM remain unchanged.	1.53ms
Entry Mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	-	Sets cursor move direction and enable the shift of entire display. These operations are performed during data write and read.	39 μs
Display ON/OFF Control	0	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set ON/OFF of entire display (D), cursor ON/OFF (C), and blinking of cursor position character (B).	39 μs
Cursor or Display Shift	0	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	Moves cursor and shifts display without changing DDRAM contents.	39 μs
Function Set	0	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	Sets interface data length (DL: 5-bit/4-bit), number of display line (N: 2-line/1-line), and display font type (F: 5x7/5x8/5x10).	39 μs
Set CGRAM Address	0	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set CGRAM address in address counter.	39 μs
Set DDRAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	-	Set DDRAM address in address counter.	39 μs
Read Busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	-	Reads busy flag (BF) indicating internal operation is being performed and reads address counter contents.	0 ns
Write data to CG or DD RAM	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	-	Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43 μs
Read data from CG or DD RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	-	Reads data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43 μs

“-” : don't care

Note: 1. Make sure to check the busy flag before sending the instruction to the display. If the busy flag is not checked, the time between first and next instruction must be longer than the instruction execution time list in the Table 6.1.

2. After execution of CG RAM/DD RAM data write or read instruction, the RAM address counter is increased or decreased by 1. The RAM address counter is updated after the busy flag turns off.

1.2 Performance Overview

Table 1.1. lists the performance outline of this MCU.

Table 1.1. Performance outline

Item	Performance	
CPU	Number of basic instructions	89 instructions
	Minimum instruction execution time	50 ns (f(XIN) = 20 MHz, VCC = 3.0 to 5.5 V) 100 ns (f(XIN) = 10 MHz, VCC = 2.7 to 5.5 V)
	Operating mode	Single-chip
	Address space	1M bytes
	Memory capacity	See Table 1.2.
	Port	Input/Output: 22 (including LED drive port), Input: 2
	LED drive port	I/O port: 8
	Timer	Timer X: 8 bits x 1 channel, Timer Y: 8 bits x 1 channel, Timer Z: 8 bits x 1 channel (Each timer equipped with 8-bit prescaler)
	Serial interface	Timer C: 16 bits x 1 channel (Circuits of input capture and output compare)
	Serial interface	*1 channel Clock synchronous, UART *1 channel UART
A/D converter	10-bit A/D converter, 1 circuit, 12 channels	
Watchdog timer	15 bits x 1 (with prescaler) Reset start function selectable	
Interrupt	Internal: 11 factors, External: 5 factors, Software: 4 factors, Priority level: 7 levels	
Clock generation circuit	2 circuits *Main clock generation circuit (Equipped with a built-in feedback resistor) *On-chip oscillator (high-speed, low-speed) On high-speed on-chip oscillator the frequency adjustment function is usable.	
Oscillation stop detection function	Main clock oscillation stop detection function	
Voltage detection circuit	Included	
Power on reset circuit	Included	
Supply voltage	VCC = 3.0 to 5.5V (f(XIN) = 20MHz) VCC = 2.7 to 5.5V (f(XIN) = 10MHz)	
Electrical characteristics	Power consumption	Typ.9 mA (VCC = 5.0V, f(XIN) = 20MHz) Typ.5 mA (VCC = 3.0V, f(XIN) = 10MHz) Typ.35 μ A (VCC = 3.0V, Wait mode, Peripheral clock stops)
	Program/erase supply voltage	Typ.0.7 μ A (VCC = 3.0V, Stop mode)
	Program/erase endurance	VCC = 2.7 to 5.5 V 10,000 times (Data flash) 1,000 times (Program ROM)
Operating ambient temperature	-20 to 85°C -40 to 85°C (D-version)	
Package	32-pin plastic mold LQFP	

1.6 Pin Description

Table 1.3 shows the pin description

Table 1.3 Pin description

Signal name	Pin name	I/O type	Function
Power supply input	Vcc, Vss	I	Apply 2.7 V to 5.5 V to the Vcc pin. Apply 0 V to the Vss pin.
Input	I/Vcc	O	This pin is to stabilize internal power supply. Connect this pin to Vss via a capacitor (0.1 μ F). Do not connect to Vcc.
Analog power supply input	AVcc, AVss	I	Power supply input pins for A/D converter. Connect the AVcc pin to Vcc. Connect the AVss pin to Vss. Connect a capacitor between pins AVcc and AVss.
Reset input	RESET	I	Input "L" on this pin resets the MCU.
CNVss	CNVss	I	Connect this pin to Vss via a resistor.
MODE	MODE	I	Connect this pin to Vcc via a resistor.
Main clock input	XIN	I	These pins are provided for the main clock generator circuit. I/O. Connect a ceramic resonator or a crystal oscillator between the XIN and XOUT pins. To use an externally derived clock, input it to the XIN pin and leave the XOUT pin open.
Main clock output	XOUT	O	Key input interrupt pins.
INT interrupt input	INT0 to INT3	I	INT interrupt input pins.
Key input interrupt	KI0 to KI3	I	Key input interrupt pins.
Timer X	CNTR0	I/O	Timer X I/O pin
Timer Y	CNTR1	O	Timer X output pin
Timer Z	TZOUT	O	Timer Y I/O pin
Timer C	TCIN	I	Timer Z output pin
	CMP0 to CMP2	O	Timer C input pin
Serial interface	CLK0	I/O	The timer C output pins
	RxD0, RxD1	I	Transfer clock I/O pin.
	TxD0, TxD10, TxD11	O	Serial data input pins.
Reference voltage input	VREF	I	Serial data output pins.
A/D converter	AN0 to AN11	I	Reference voltage input pin for A/D converter. Connect the VREF pin to Vcc.
I/O port	P0 to P7, P10 to P17, P30 to P31, P37, P45	I/O	Analog input pins for A/D converter. These are 8-bit CMOS I/O ports. Each port has an I/O select direction register, allowing each pin in that port to be directed for input or output individually. Any port set to input can select whether to use a pull-up resistor or not by program. P10 to P17 also function as LED drive ports.
Input port	P45, P47	I	Port for input-only

5. Electrical Characteristics

Table 5.1 Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Condition	Rated value	Unit
V _{CC}	Supply voltage	V _{CC} =AVCC	-0.3 to 5.5	V
AVCC	Analog supply voltage	V _{CC} =AVCC	0.3 to 5.5	V
V _I	Input voltage	0.3 to V _{CC} -0.3		V
V _O	Output voltage	-0.3 to V _{CC} -0.3		V
P _D	Power dissipation	T _{case} =25°C	300	mW
T _{stg}	Operating ambient temperature	-40 to 85 / +40 to 85 (D version)		°C
T _{sp}	Storage temperature	-65 to 150		°C

Table 5.2 Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Conditions	Standard			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
V _{CC}	Supply voltage		2.7	—	5.5	V
AVCC	Analog supply voltage		—	V _{CC} (1)	—	V
V _{IS}	Supply voltage		—	0	—	V
AV _{IS}	Analog supply voltage		—	0	—	V
V _{IH}	Input voltage	0.5V _{CC}	—	—	V _{CC}	V
V _{IL}	Input voltage	0	—	—	0.2V _{CC}	V
I _Q (max)	Supply current (peak) at all pins 'OH'		—	—	-80.0	mA
I _Q (max)	Supply current (peak) output current		—	—	-10.0	mA
I _Q (avg)	Average output current		—	—	-5.0	mA
I _Q (max)	Supply current (peak) at all pins 'OL'		—	—	80	mA
I _Q (max)	Supply current (peak) output current		—	—	10	mA
I _Q (avg)	Average output current		—	—	30	mA
I _Q (max)	Supply current (peak) at all pins 'H'		—	—	10	mA
I _Q (avg)	Average output current		—	—	5	mA
I _Q (max)	Supply current (peak) at all pins 'L'		—	—	15	mA
I _Q (avg)	Average output current		—	—	5	mA
I _Q (max)	Supply current (peak) at all pins 'Z'		—	—	20	mA
I _Q (avg)	Average output current		—	—	10	mA

NOTES:
 1. V_{CC} = AV_{CC} = 2.7 to 5.5 V at T_{case} = +20 to 85 °C / +40 to 85 °C, unless otherwise specified.
 2. The typical values when average output current is 100µs.
 3. Hold V_{CC}=AV_{CC}.

Table 5.3 A/D Conversion Characteristics

Symbol	Resolution	Parameter	Measuring condition	Standard		Unit
				Min.	Max.	
-	Absolute accuracy	10 bit mode	V _{IN} =V _{CC} sA/D=10 MHz, V _{REF} =V _{CC} -0.0V	—	±10	LSB
		8 bit mode	sA/D=10 MHz, V _{REF} =V _{CC} -0.0V	—	±2	LSB
		10 bit mode	sA/D=10 MHz, V _{REF} =V _{CC} -3.0V	—	±5	LSB
		8 bit mode	sA/D=10 MHz, V _{REF} =V _{CC} -3.0V	—	±2	LSB
R _{LSB}	Ladder resistance	V _{REF} =V _{CC}		10	—	Ω
		sA/D=10 MHz, V _{REF} =V _{CC} -0.0V		3.3	—	Ω
t _{CONV}	Conversion time	10 bit mode	sA/D=10 MHz, V _{REF} =V _{CC} -0.0V	3.3	—	µs
		8 bit mode	sA/D=10 MHz, V _{REF} =V _{CC} -0.0V	2.8	—	µs
V _{REF}	Reference voltage			—	V _{CC} (1)	V
V _{IN}	Analog input voltage			0	—	V
-	A/D operating clock frequency (f _{clk})	Without sample & hold		0.25	—	10 MHz
		With sample & hold		1.0	—	10 MHz

NOTES:
 1. V_{CC}=AV_{CC}=2.7 to 5.5 V at T_{case} = +20 to 85 °C / +40 to 85 °C, unless otherwise specified.
 2. If f_{clk} exceeds 10 MHz mode, divide the f_{clk} and hold A/D operating clock frequency (f_{clk}) 10 MHz or below.
 3. If the AV_{CC} is less than 4.2V, divide the f_{clk} and hold A/D operating clock frequency (f_{clk}) f_{clk}/2 or below.
 4. Hold V_{CC}=V_{REF}.

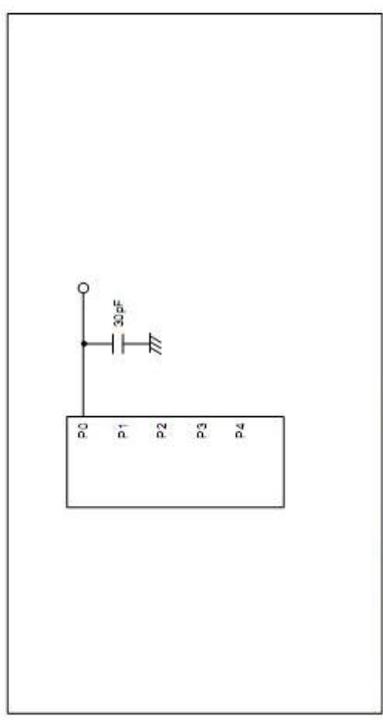


Figure 5.1 Port P0 to P4 measurement circuit

