



**PENENTU TINGKAT FERMENTASI BIJI KAKAO
MENGUNAKAN SENSOR WARNA
DENGAN MIKROKONTROLLER ATMEGA 16**

PROYEK AKHIR

Oleh

Abdaul Hidayatir Ridho

NIM 081903102010

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2011**



**PENENTU TINGKAT FERMENTASI BIJI KAKAO
MENGUNAKAN SENSOR WARNA
DENGAN MIKROKONTROLLER ATMEGA 16**

PROYEK AKHIR

**diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Diploma III Teknik Elektronika
dan mencapai gelar Ahli Madya**

Oleh

Abdaul Hidayatir Ridho

NIM 081903102010

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK ELEKTRONIKA

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2011

PERSEMBAHAN

Proyek akhir ini merupakan sebuah awal, langkah kecil menuju lompatan besar guna menggapai kesuksesan yang lebih baik lagi. Ini merupakan karya yang tidak akan terlupakan bagi saya, karya ini adalah hasil dari ilmu yang saya dapat baik secara akademik maupun non-akademik. Untuk itu Proyek Akhir ini saya persembahkan kepada :

- 1. Allah SWT, dengan segala Keagungan dan Kejayaan-Nya yang senantiasa mendengar do'a ku, menuntunku dari dari kegelapan, serta senantiasa menaungiku dengan rahmat dan hidayah-Nya dan junjunganku Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi penerang di dunia dan suri tauladan bagi kita semua.*
- 2. Umi, Abahku, kedua adikku, DNA ku, serta seluruh kerabat dan handai taulan terima kasih atas segala kasihsayang, dukungan, semangat, dan doa selama ini semoga Allah SWT membalas dengan pahalanya.*
- 3. Seluruh teman dan sahabat seperjuangan D 3 Teknik Elektronika angkatan 2008, kalian sebagai inspirasiku serta tempat berbagi suka dan duka yang tidak akan terlupakan. Aku menjadikan kalian semua bagian dari diriku dan aku sangat menyayangi kalian semua.*
- 4. Buat semua teman-teman Jurusan Elektro angkatan 2006 - 2011. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan yang ikut dalam membantu dan berdoa.*
- 5. Guru-guruku sejak TK sampai Perguruan Tinggi yang terhormat, terima kasih telah memberikan ilmu dan mendidik dengan penuh kesabaran.*
- 6. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian proyek akhir ini.*
- 7. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember*

MOTO

“Demi masa. Sesungguhnya manusia itu benar-benar dalam kerugian, kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal saleh dan nasehat menasehati supaya mentaati kebenaran dan nasehat menasehati supaya menetapi kesabaran”

(QS: Al Ashr 1-3)

“Gunakanlah dengan sebaik-baiknya masa mudamu sebelum masa tuamu, masa sehatmu sebelum masa sakitmu, masa kayamu sebelum masa miskinmu, masa senggangmu sebelum masa sibukmu dan masa hidupmu sebelum datang matimu.”

(HR. Muslim, Tirmidzi dari Amru bin Maimun)

“Kita jarang melihat apa yang kita miliki, yang selalu kita ingat hanyalah pada apa yang tidak kita punya, kecil apapun yang kita miliki syukurilah.”

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abdaul Hidayatir Ridho

NIM : 081903102010

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul: “ *Penentu Tingkat Fermentasi Biji Kakao Menggunakan Sensor Warna dengan Mikrokontroller ATMEGA 16* ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Oktober 2011

Yang menyatakan,

Abdaul Hidayatir Ridho

NIM 081903102010

PROYEK AKHIR

**PENENTU TINGKAT FERMENTASI BIJI KAKAO
MENGUNAKAN SENSOR WARNA
DENGAN MIKROKONTROLLER ATMEGA 16**

Oleh

**Abdaul Hidayatir Ridho
NIM 081903102010**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Khairul Anam, ST., MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Sri Mulato, MS

Dosen Pembimbing Lapangan : Edy Suharyanto, STP., M.P.

PENGESAHAN

Proyek Akhir berjudul “*Penentu Tingkat Fermentasi Biji Kakao Menggunakan Sensor Warna dengan Mikrokontroller ATMEGA 16*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari : Senin

Tanggal : 24 Oktober 2011

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,
(Dosen Pembimbing Utama)

Sekretaris,
(Dosen Pembimbing Anggota)

Khairul Anam, S.T., M.T.
NIP. 19780405 200501 1 002

Dr. Ir. Sri Mulato, MS.
NIK. 110.700.293

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP. 19710614 199702 1 001

Sumardi, S.T., M.T.
NIP. 19670113 199802 1 001

Mengesahkan
an. Dekan,
Pembantu Dekan I,

Mahros Darsin, S.T., M.Sc.
NIP. 19700322 199501 1 001

**PENENTU TINGKAT FERMENTASI BIJI KAKAO
MENGUNAKAN SENSOR WARNA
DENGAN MIKROKONTROLLER ATMEGA 16**

Abdaul Hidayatir Ridho

Jurusan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Tolak ukur perkebunan rakyat yang dipergunakan untuk mengukur tingkat fermentasi biji kakao adalah dengan melihat warna keping biji kakao (uji belah), sehingga biji kakao tidak terfermentasi secara benar dan sempurna akibat perbedaan persepsi kualitas. Dengan latar belakang tersebut, alat ini dibuat untuk memudahkan dalam mengetahui tingkat fermentasi biji kakao secara efektif dan efisien serta mudah diaplikasikan. Alat ini menggunakan mikrokontroler ATMEGA 16 dan sensor yang digunakan adalah sensor warna TCS230-DB yang akan menyensor biji kakao dan menghasilkan *output* berupa frekuensi untuk diolah di mikrokontroler ATMEGA 16 menjadi *red, green, blue, clear* (RGBC). Dengan hasil akhir berupa tampilan indeks fermentasi biji kakao dari persamaan $y = 0.061x - 0.5756$ yang diolah program untuk ditampilkan pada *LCD Display*. Dalam penelitian ini alat bekerja cukup baik dengan tingkat keberhasilan 89 persen dan error persen alat sebesar 10.78 persen. Alat ini diharapkan, dapat difungsikan sebagai alat proses kontrol selama biji kakao difermentasi agar diperoleh biji kakao dengan mutu terfermentasi sempurna.

Kata kunci : biji kakao, indeks fermentasi, mikrokontroler, sensor warna

**DETERMINANTS OF THE LEVEL FERMENTATION OF COCOA BEANS
USING COLOR SENSOR
WITH MICROCONTROLLER ATMEGA 16**

Abdaul Hidayatir Ridho

Electronics Engineering Department, Engineering Faculty, Jember University

ABSTRACT

Plantation benchmark used to measure the level of fermentation of cocoa beans is to look at the color of the cocoa bean pieces (split test), so it is not fermented cocoa beans properly and completely due to differences in perceived quality. With this background, the tool is made for ease in knowing the level of fermentation of cocoa beans in an effective and efficient and easy to apply. This tool uses ATmega microcontroller 16 and the sensor used is a TCS230-DB color sensor that will censor cocoa beans and produce output frequency to be processed in the microcontroller ATmega 16 become red, green, blue, clear (RGBC). With the final results of the index view fermented cocoa beans from the equation $y = 0.061x - 0.5756$ processed program to be displayed on the LCD Display. In this study the tool works pretty well with a success rate of 89 percent and the percent error of 10.78 percent of the tool. This tool is expected, can function as a tool for process control in order to obtain fermented cocoa beans fermented with perfect quality.

Key words : *cocoa beans, fermentation index, mikrokontroller ,color sensor*

RINGKASAN

Penentu Tingkat Fermentasi Biji Kakao Menggunakan Sensor Warna dengan Mikrokontroler ATMEGA 16; Abdaul Hidayatir Ridho; 081903102010; 2011; 110 halaman; Program Studi Diploma III Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Fermentasi merupakan suatu proses produksi suatu produk dengan mikroba sebagai organisme pemroses. Fermentasi yang sempurna menentukan citarasa biji kakao dan produk olahannya, termasuk juga karena buah yang masak dan sehat serta pengeringan yang baik. Namun, tolak ukur perkebunan rakyat yang dipergunakan untuk mengukur tingkat fermentasi biji kakao adalah dengan melihat warna keping biji kakao (uji belah), sehingga biji kakao tidak terfermentasi secara benar dan sempurna akibat perbedaan persepsi kualitas. Dengan latar belakang tersebut, alat ini dibuat untuk memudahkan dalam mengetahui tingkat fermentasi biji kakao secara efektif dan efisien serta mudah diaplikasikan.

Secara umum alat ini menggunakan mikrokontroler ATMEGA 16 dan sensor yang digunakan adalah sensor warna TCS 230-DB yang akan menyensor biji kakao dan menghasilkan *output* berupa frekuensi untuk diolah di mikrokontroler ATMEGA 16 menjadi *red, green, blue, clear* (RGBC). Dengan hasil akhir berupa tampilan indeks fermentasi biji kakao yang akan ditampilkan pada *LCD 2X16 Display*. Hasil dari indeks fermentasi ini nantinya akan dikalibrasi dengan hasil indeks fermentasi spektrofotometer. Biji kakao yang digunakan dalam penelitian ini berupa biji kakao basah.

Hasil pengujian menunjukkan alat bekerja cukup baik dengan tingkat keberhasilan 89 persen. Error persen alat terbesar dalam pembacaan indeks fermentasi sebesar 10,90 persen dan terkecil 0,12 persen. Pemfilter yang digunakan sebagai penentu indeks fermentasi adalah pemfilter *green*, karena memiliki koefisien yang baik dengan persamaan $y = 0.061x - 0.5756$. Persamaan tersebut dimasukkan ke dalam program untuk menampilkan indeks fermentasi biji kakao.

SUMMARY

Determinants of the Level Fermentation of Cocoa Beans Using Color Sensor with Microcontroller Atmega 16; Abdaul Hidayatir Ridho; 081903102010; 2011: 110 pages; Study Program Diploma III of Electronics Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Fermentation is a process of production of a product with microbes as organisms processors. Fermentation determine the perfect flavor cocoa beans and processed products, as well as the fruit is ripe and healthy and good drainage. However, smallholders benchmark used to measure the level of fermentation of cocoa beans is to look at the color of the cocoa bean pieces (split test), so it is not fermented cocoa beans properly and completely due to differences in perceived quality. With this background, the tool is made for ease in knowing the level of fermentation of cocoa beans in an effective, efficient and easy to apply.

In general, these tools use ATMega microcontroller 16 and the sensor used is a color sensor 230-DB TCS that will censor cocoa beans and produces output frequency to be processed in the microcontroller ATMega 16 becomes red, green, blue, clear (RGBC). With the final results of the index view fermented cocoa beans that will be displayed on the LCD Display 2x16. The results of this fermentation indices will be calibrated with the results of fermentation index spectrophotometer. Cocoa beans used in this study in the form of wet cocoa beans.

Test results show the tool works pretty well with 89 percent success rate. Error percent of the largest tool in the reading of the fermentation index of 10.90 percent and 0.12 percent, the smallest. Pemfilter index used as a determinant of fermentation is pemfilter green, because it has a good coefficient with the equation $y = 0.061x - 0.5756$. The equation is inserted into the program to display the index of fermented cocoa beans.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan proyek akhir yang berjudul “ *Penentu Tingkat Fermentasi Biji Kakao Menggunakan Sensor Warna dengan Mikrokontroler ATMEGA 16* “ dapat terselesaikan dengan baik. Laporan proyek akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Diploma III teknik elektronika pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Terselesaikannya laporan proyek akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu saya sampaikan ucapan terima kasih kepada:

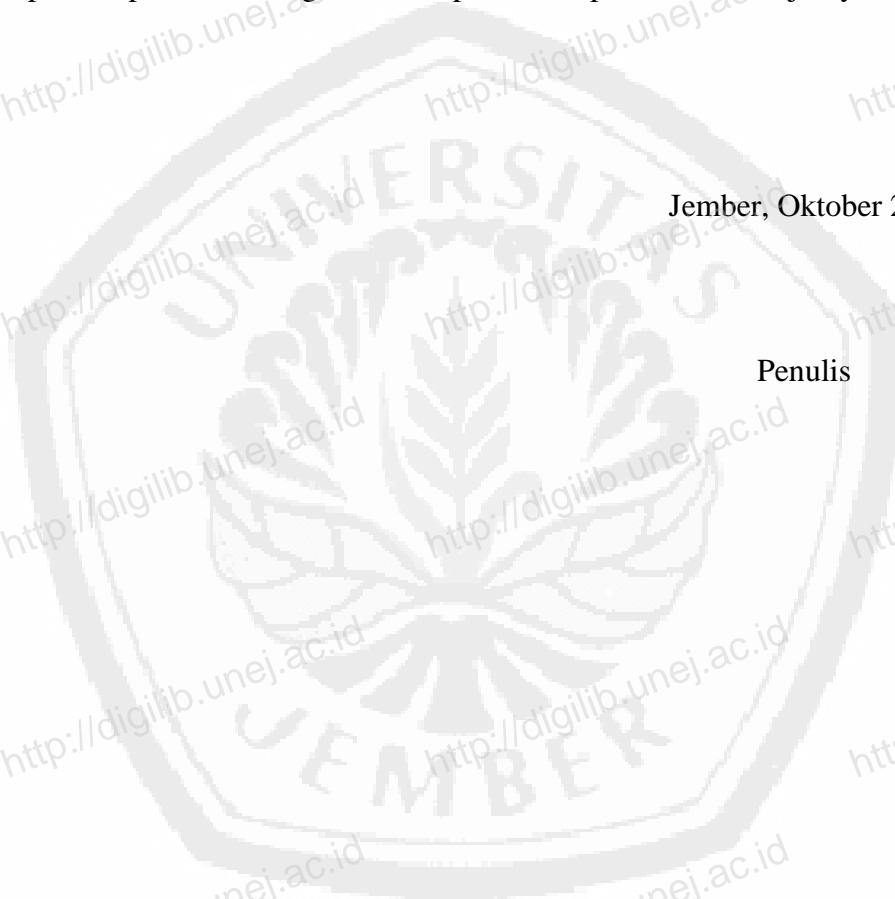
1. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Sumardi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Diploma Tiga Teknik Elektro Universitas Jember;
4. Bapak Khairul Anam, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr.Ir. Sri Mulato, MS serta Bapak Edy Suharyanto, STP., MP. selaku Dosen Pembimbing dari Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya proyek akhir ini;
5. Bapak Dr. Azmi Saleh, ST., MT dan Sumardi, ST., MT selaku Tim Penguji Proyek Akhir yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta saran-sarannya guna memberikan pengarahan demi terselesaikannya penulisan laporan proyek akhir ini;
6. Teman-teman Lab. Alsin serta seluruh karyawan Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.

7. Sivitas Akademika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Semoga laporan proyek akhir ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektronika, kritik dan saran diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan proyek akhir ini dan diharapkan dapat dikembangkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Jember, Oktober 2011

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	viii
RINGKASAN	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Fermentasi Biji Kakao	4
2.2 Mikrokontroller ATMEGA 16	5
2.3 Sensor Warna TCS230-DB	8
2.4 LCD 2 x 16 <i>Display</i>	11
2.5 Spektrofotometer	13

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	14
3.1.1	Tempat Penelitian	14
3.1.2	Waktu Penelitian	14
3.2	Alat dan Bahan	15
3.2.1	<i>Hardware</i>	15
3.2.2	<i>Software</i>	15
3.3	Tahap Penelitian	15
3.4	Desain Penelitian	16
3.4.1	Desain Konstruksi Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	16
3.4.2	Desain Konstruksi Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	19

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengujian Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	23
4.1.1	Rangkaian Sistem Minimum ATMEGA 16	23
4.1.2	Rangkaian LCD <i>display</i> 2 x 16	24
4.2	Pengujian Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	25
4.2.1	Pengujian Program Penghitung Frekuensi	25
4.2.2	Pengubah Frekuensi menjadi RGBC	27
4.3	Pengambilan Sampel dan Kalibrasi dengan Spektrofotometer	31
4.3.1	Pengambilan Sampel	31
4.3.2	Kalibrasi dengan Spektrofotometer	31
4.4	Olah Data Pengambilan Sampel dan Kalibrasi	33
4.4.1	Pemfilter warna merah (<i>Red</i>)	33
4.4.2	Pemfilter Warna Hijau (<i>Green</i>)	36
4.4.3	Pemfilter Warna Biru (<i>Blue</i>)	40
4.4.4	Pemfilter <i>Clear</i>	43

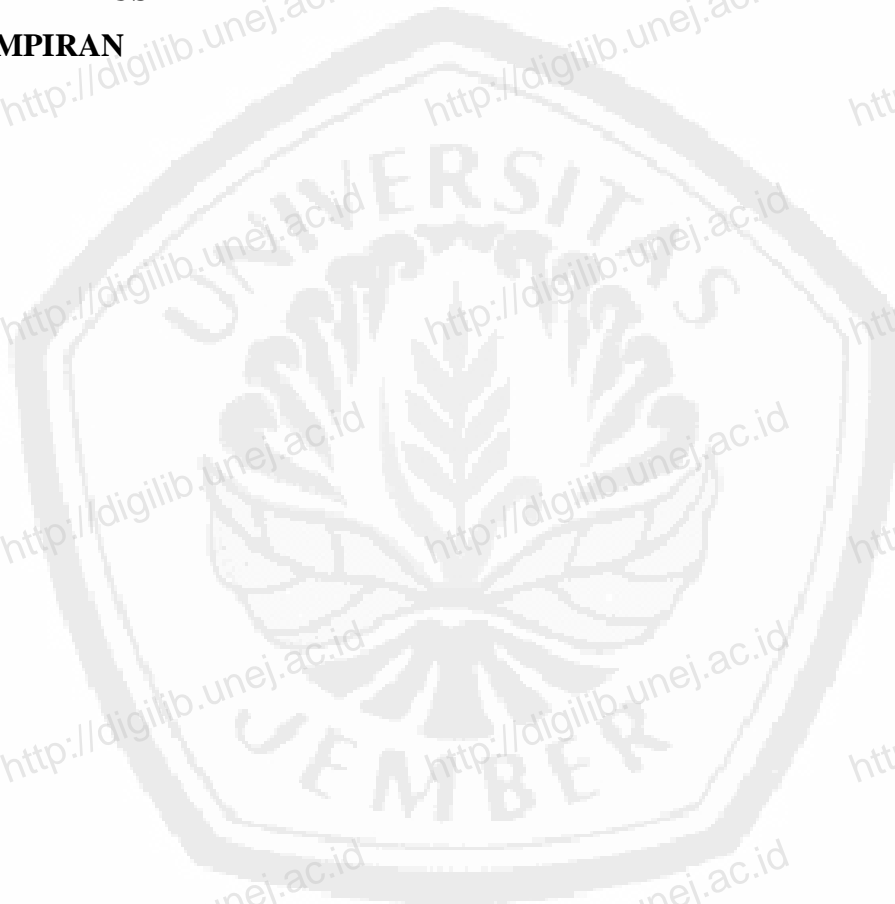
4.4.5	Nilai Indeks Fermentasi Alat dengan Indeks Fermentasi Spektrofotometer	46
-------	--	----

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



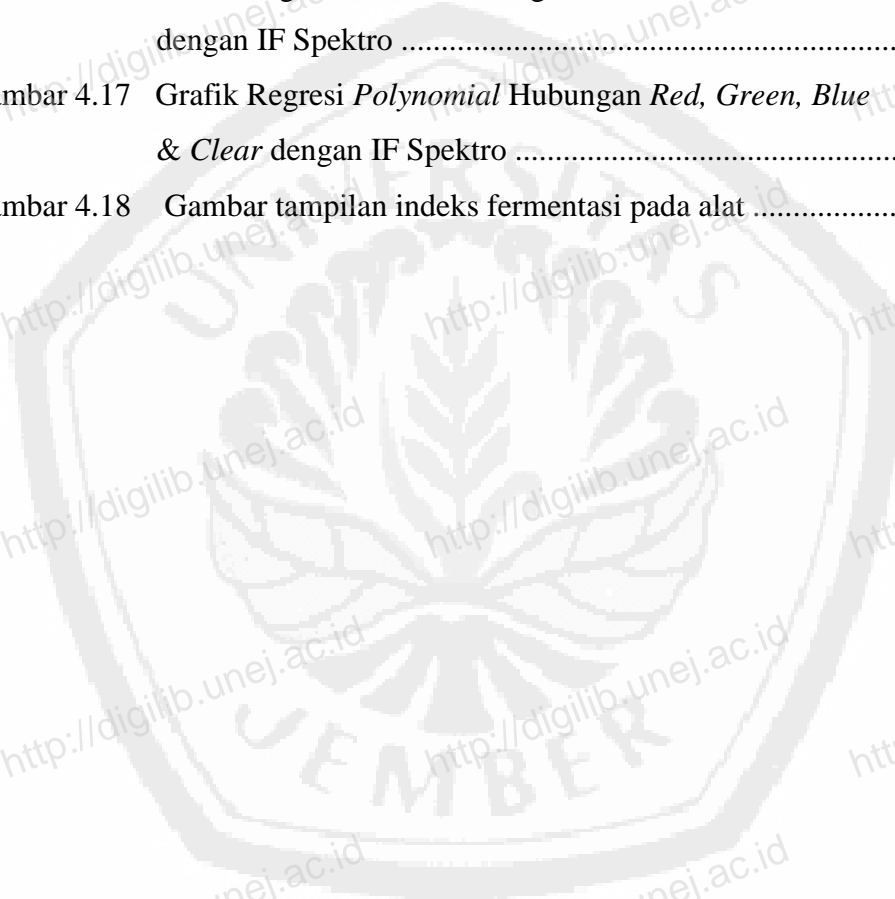
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kombinasi fungsi S2 dan S3	9
Tabel 2.2 Kombinasi fungsi S0 dan S1	10
Tabel 2.3 Konfigurasi pin LCD M1632	12
Tabel 3.1 Rencana Kegiatan Proyek Akhir	14
Tabel 3.2 Antarmuka Mikrokontroler dan <i>hardware</i> pendukung	17
Tabel 4.1 Pengujian Mikrokontroler ATMEGA 16	24
Tabel 4.2 Nilai <i>output</i> sensor warna berupa frekuensi berbagai warna .	26
Tabel 4.3 Pengujian Sensor dengan Berbagai Warna	30
Tabel 4.4 Nilai <i>Red</i> dan Indeks Fermentasi Spektro	33
Tabel 4.5 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter <i>Red</i>	34
Tabel 4.6 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter <i>Red</i>	35
Tabel 4.7 Nilai <i>Green</i> dan Indeks Fermentasi Spektro	36
Tabel 4.8 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter <i>Green</i>	37
Tabel 4.9 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter <i>Green</i>	38
Tabel 4.10 Nilai <i>Blue</i> dan Indeks Fermentasi Spektro	39
Tabel 4.11 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter <i>Blue</i>	40
Tabel 4.12 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter <i>Blue</i>	41
Tabel 4.13 Nilai <i>Clear</i> dan Indeks Fermentasi Spektro	42
Tabel 4.14 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter <i>Clear</i>	43
Tabel 4.15 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter <i>Clear</i>	44
Tabel 4.16 Indeks Fermentasi Alat regresi linear	45
Tabel 4.17 Indeks Fermentasi Alat regresi polynomial	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Konfigurasi Pin ATmega 16	6
Gambar 2.2 Gambar fisik dan Skematic sensor warna TCS230-DB	8
Gambar 2.3 Contoh sampel warna dan komposisi RGB – nya	9
Gambar 2.4 Cara menghitung frekuensi dengan timer periode	10
Gambar 2.5 Cara menghitung frekuensi dengan menghitung periode satu gelombang	11
Gambar 2.6 Fisik dan Susunan alamat pada LCD	11
Gambar 2.7 Fisik Spektrofotometer	13
Gambar 3.1 Blok diagram kerja alat	16
Gambar 3.2 Desain tempat alat	16
Gambar 3.3 Rangkain Sistem Minimum ATMEGA 16 dan <i>Hardware</i>	17
Gambar 3.4 Rangkaian <i>regulator</i> tegangan	18
Gambar 3.5 Rangkaian LCD <i>Display</i> 2 x 16	18
Gambar 3.6 Diagram Alir Software	19
Gambar 4.1 Sistem Minimum ATMEGA 16	21
Gambar 4.2 Tampilan komposisi <i>Red, Green, Blue, dan Clear</i>	23
Gambar 4.3 Diagram alir penghitung frekuensi	24
Gambar 4.4 Diagram alir pengubah frekuensi ke RGBC	27
Gambar 4.5 Komposisi <i>Red, Green, Blue, dan Clear</i> pada warna hitam	29
Gambar 4.6 Komposisi <i>Red, Green, Blue, dan Clear</i> pada warna putih	29
Gambar 4.7 Tahap kalibrasi spektrofotometer	32
Gambar 4.8 Grafik Regresi <i>Linear</i> Hubungan IF dengan Nilai <i>Red</i>	34
Gambar 4.9 Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Hubungan IF dengan Nilai <i>Red</i>	35
Gambar 4.10 Grafik Regresi <i>Linear</i> Hubungan IF dengan Nilai <i>Green</i>	37

Gambar 4.11	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Hubungan IF dengan Nilai <i>Green</i>	38
Gambar 4.12	Grafik Regresi <i>Linear</i> Hubungan IF dengan Nilai <i>Blue</i>	40
Gambar 4.13	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Hubungan IF dengan Nilai <i>Blue</i>	41
Gambar 4.14	Grafik Regresi <i>Linear</i> Hubungan IF dengan Nilai <i>Clear</i>	43
Gambar 4.15	Grafik regresi <i>polynomial</i> Hubungan IF dengan Nilai <i>Clear</i>	44
Gambar 4.16	Grafik Regresi <i>Linear</i> Hubungan <i>Red, Green, Blue & Clear</i> dengan IF Spektro	47
Gambar 4.17	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Hubungan <i>Red, Green, Blue</i> & <i>Clear</i> dengan IF Spektro	47
Gambar 4.18	Gambar tampilan indeks fermentasi pada alat	48



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Listing Program Penentu Indeks Fermentasi Biji Kakao	54
B. Hasil Pengujian Pembacaan Nilai <i>Red, Green, Blue, Clear</i>	61
C. Jarak Optimal Pengujian Sensor Warna TCS230-DB	73
D. Foto Alat Penentu Indeks Fermentasi Biji Kakao	75
E. Perubahan Warna Biji Kakao dari Fermentasi 0 Hari – 5 Hari	77
F. Data Sheets	78
1. Data Sheet ATMEGA 16	79
2. Data Sheet Color Sensor TCS230-DB	80

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data *International Cacao and Coffee Organization / ICCO* pada tahun 2004 Indonesia mengeksport kakao ke Eropa berupa Cocoa Butter, Cocoa Paste, Biji Kakao dan Cocoa Powder. Untuk masuk wilayah Eropa yang perlu diperhatikan beberapa persyaratan standar mutu biji kakao, khususnya mutu citarasa yang memerlukan syarat proses fermentasi yang benar. Menurut Koordinator Pemasaran kakao wilayah Jawa-Bali Ir Iswandi, produksi kakao di Indonesia sebagian besar dari hasil panen perkebunan rakyat. Kualitas kakao sangat dipengaruhi kondisi kesejahteraan petani kakao. Akibat kondisi kesejahteraan yang masih memprihatinkan, petani sering terpaksa menjual kakao hasil panen tidak atau kurang fermentasi.

Tolak ukur perkebunan rakyat yang dipergunakan untuk mengukur tingkat fermentasi biji kakao adalah dengan melihat warna keping biji kakao (uji belah), sehingga biji kakao tidak terfermentasi secara benar dan sempurna akibat perbedaan persepsi kualitas.

Dengan latar belakang tersebut, alat ini dibuat untuk memudahkan dalam mengetahui tingkat fermentasi biji kakao secara efektif dan efisien serta mudah diaplikasikan. Alat ini menggunakan mikrokontroler ATMEGA 16 dan sensor yang digunakan adalah sensor warna TCS 230 yang akan menyensor biji kakao dan menghasilkan sinyal digital untuk diolah di mikrokontroler ATMEGA 16. Dengan hasil berupa tampilan indeks fermentasi biji kakao yang akan ditampilkan pada *LCD Display*.

Alat ini diharapkan, dapat difungsikan sebagai alat proses kontrol selama biji kakao difermentasi agar diperoleh biji kakao dengan mutu terfermentasi sempurna.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada proyek akhir ini antara lain :

1. Bagaimana mendesain rangkaian alat penentu indeks fermentasi biji kakao ini dengan menggunakan sensor warna.
2. Bagaimana cara membuat alat penentu indeks fermentasi biji kakao dengan akurasi yang baik.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas, menyederhanakan dan menghindari meluasnya masalah maka diberikan batasan – batasan sebagai berikut :

1. Obyek yang digunakan adalah biji kakao.
2. Data yang ditampilkan secara kuantitatif bukan kualitatif.
3. Fermentasi kakao diukur dalam skala hari.
4. Jarak pembacaan sensor dengan benda ± 2 cm

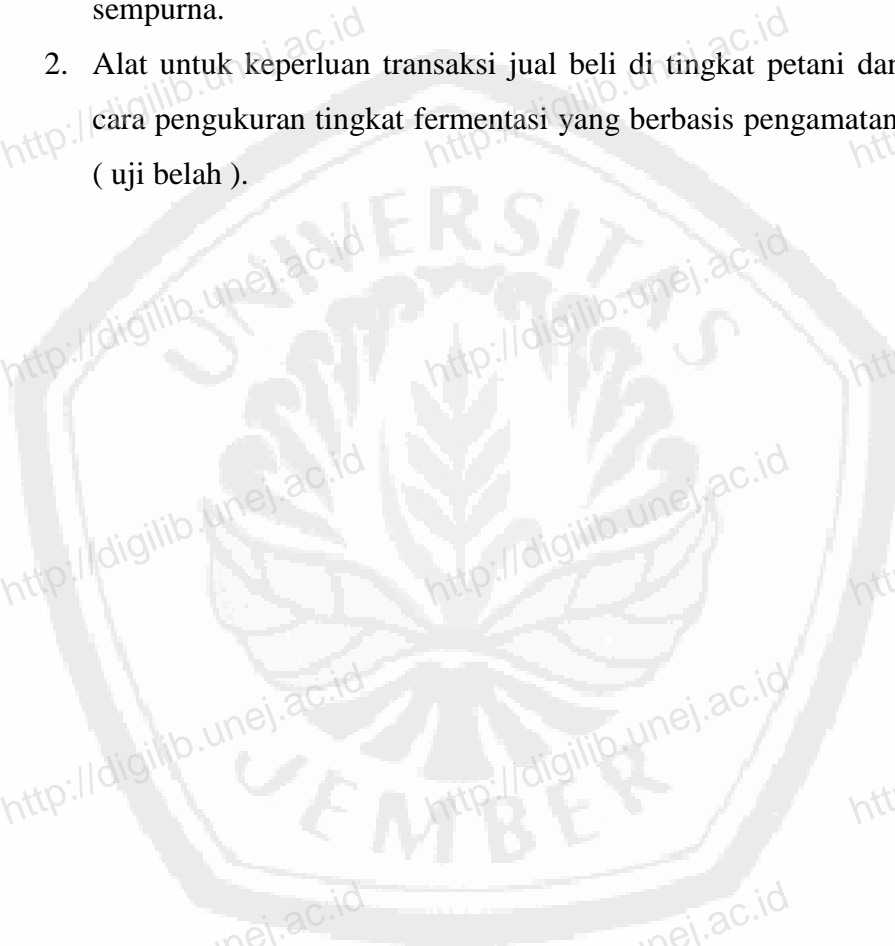
1.4 Tujuan

Membuat alat aplikasi sensor warna sebagai penentu tingkat fermentasi biji kakao menggunakan Mikrokontroler ATMEGA 16.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dengan adanya alat ini adalah :

1. Alat ini dapat difungsikan sebagai proses kontrol selama biji kakao difermentasi agar diperoleh biji kakao dengan mutu terfermentasi sempurna.
2. Alat untuk keperluan transaksi jual beli di tingkat petani dan mengganti cara pengukuran tingkat fermentasi yang berbasis pengamatan fisik visual (uji belah).



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fermentasi Biji Kakao

Fermentasi merupakan suatu proses produksi suatu produk dengan mikroba sebagai organisme pemroses. Fermentasi biji kakao merupakan fermentasi tradisional yang melibatkan mikroorganisme indigen dan aktivitas enzim endogen. Fermentasi biji kakao tidak memerlukan penambahan kultur starter (biang), karena pulp kakao yang mengandung banyak glukosa, fruktosa, sukrosa dan asam sitrat dapat mengundang pertumbuhan mikroorganisme sehingga terjadi fermentasi.

Fermentasi yang sempurna menentukan citarasa biji kakao dan produk olahannya, termasuk juga karena buah yang masak dan sehat serta pengeringan yang baik. Fermentasi sempurna yang dimaksud adalah fermentasi selama 5 hari sesuai dengan penelitian *Sime-Cadbury*. Jika fermentasi yang dilakukan kurang atau tidak sempurna, selain citarasa khas coklat tidak terbentuk, juga seringkali dihasilkan citarasa ikutan yang tidak dikehendaki, seperti rasa masam, pahit, kelat, sangit, dan rasa tanah (*Atmawinata, O, dkk, 1998*).

Fungsi fermentasi :

1. Melepaskan lapisan lendir.
2. Mematikan biji kakao.
3. Membentuk bahan pelopor cita rasa (*flavor precursor*).
4. Memudahkan proses pengeringan biji kakao.
5. Mencegah pemecahan lemak kakao (*cacao butter*).

Waktu fermentasi tergantung dari jenis kakao, teknik fermentasi dan lingkungan. Dan untuk mengetahui akhir waktu fermentasi adalah sebagai berikut

1. Biji kakao agak kering dan lembek, berwarna coklat kemerahan dan agak membengkak.
2. Terdapat pertumbuhan jamur berwarna putih di permukaan kulit.
3. Bau aroma cuka berkurang.
4. Suhu pada tumpukan biji turun.
5. Biji mengeluarkan cairan berwarna ungu kemerahan jika dipicit.
6. Jika dibelah, dua permukaan belahan berwarna ungu pucat yang dikelilingi warna coklat di tepi.

2.2 Mikrokontroler ATMEGA 16

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler umumnya terdiri dari *CPU (Central Processing Unit)*, memori, *I/O* tertentu dan unit pendukung seperti *Analog-to-Digital Converter (ADC)* yang sudah terintegrasi di dalamnya.

Mikrokontroler ATMEGA 16 secara umum memiliki CPU 8 bit, memori, port *I/O* yang dapat diprogram, timer dan counter, sumber interrupt, ADC, USART, EEPROM, program serial yang dapat diprogram, osilator dan clock. ATMEGA 16 merupakan memori dengan teknologi *nonvolatile memory*, artinya isi memori tersebut dapat diisi ulang ataupun di hapus berulang kali. Memori ini biasa digunakan untuk menyimpan instruksi berstandar *ATMEGA16 code* sehingga tidak membutuhkan *external memory* untuk menyimpan *source code* tersebut. ATMEGA 16 dilengkapi dengan 32 jalur *I/O* yang dapat digunakan untuk mengakses data dari luar dan mengeluarkan data. Komponen ATMEGA 16 dibuat dengan konfigurasi pin dan set intruksinya sesuai dengan standart industri dari keluarga mikrokontroler ATmega16. Gambar berikut merupakan konfigurasi pin dari mikrokontroler ATmega16.

(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(\overline{SS}) PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	27	PC5 (TDI)
(TXD) PD1	15	26	PC4 (TDO)
(INT0) PD2	16	25	PC3 (TMS)
(INT1) PD3	17	24	PC2 (TCK)
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP1) PD6	20	21	PD7 (OC2)

(Sumber : *Datasheet* ATmega 16)

Gambar 2.1 Konfigurasi Pin ATmega 16

Fungsi-fungsi dasar pin ATMEGA 16 adalah sebagai berikut :

1. VCC

Merupakan pin yang berfungsi sebagai masukan catu daya dengan tegangan operasi 2,7 V – 5,5 V.

2. GND

Merupakan pin *ground*.

3. PORT A (PA0 – PA7)

PORT A adalah port *I/O* dua-arah (*bidirectional*) 8-bit dan masukan ADC

4. PORT B (PB0 – PB7)

PORT B adalah port *I/O* dua-arah dan merupakan pin berfungsi khusus sebagai *Timer / Counter*, komparator analoag dan SPI.

5. **PORT C (PC0 – PC7)**

PORT C adalah port *I/O* dua-arah dan merupakan pin berfungsi khusus sebagai komparator analog dan *Timer Oscilator*.

6. **PORT D (PD0 – PD7)**

PORT D adalah port *I/O* dua-arah dan merupakan pin berfungsi khusus sebagai komparator analog, *interupsi external* dan komunikasi serial.

7. **RESET**

Merupakan pin yang berfungsi untuk mereset mikrokontroler.

8. **XTAL1 DAN XTAL2**

Merupakan pin masukan *clock* eksternal.

9. **AVCC**

Merupakan pin masukan tegangan ADC.

10. **AREEF**

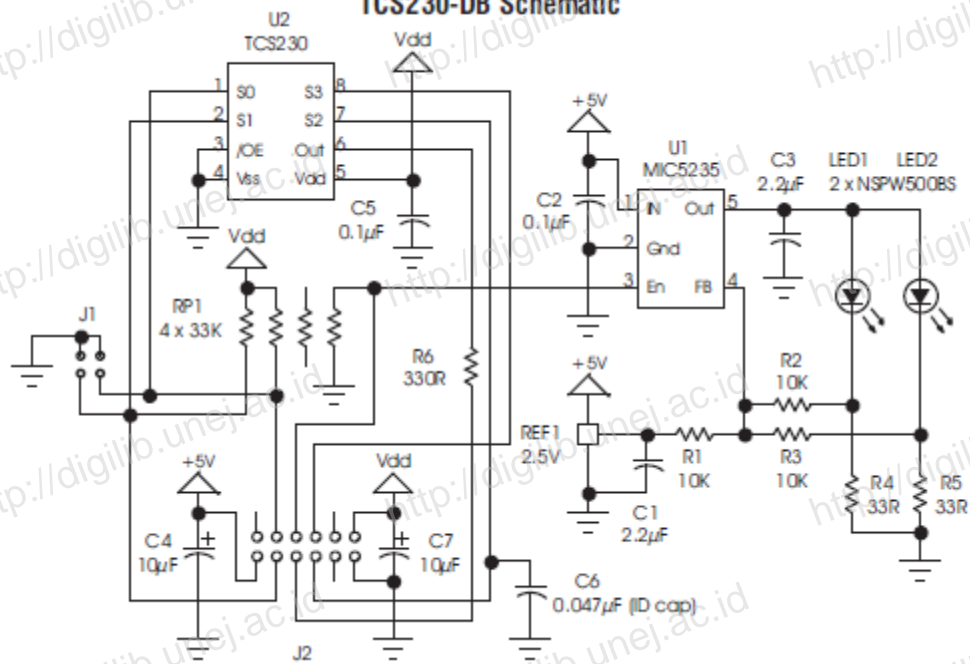
Merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

2.3 **Sensor Warna TCS230-DB**

TCS230-DB adalah IC pengkonversi warna cahaya ke frekuensi. Ada dua komponen utama pembentuk IC ini yaitu *photodiode* dan pengkonversi arus ke frekuensi sebagaimana bisa dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini,









TCS230-DB Schematic



(Sumber : Datasheet TCS230-DB)

Gambar 2.2 Gambar fisik dan Skematic sensor warna TCS230-DB

Setiap warna bisa disusun dari warna dasar. Untuk cahaya, warna dasar penyusunnya adalah warna Merah, Hijau dan Biru atau dikenal dengan istilah **RGB** (*Red - Green - Blue*). Gambar 1.2 memperlihatkan beberapa sampel warna dan komposisi RGB-nya terskala 8 bit.

	Hitam (R = 0, G = 0, B = 0)
	Merah (R = 255, G = 0, B = 0)
	Biru (R = 0, G = 0, B = 255)
	Hijau (R = 0, G = 255, B = 0)
	Hijau (R = 255, G = 255, B = 0)
	Orange (R = 255, G = 160, B = 0)

(Sumber : *Delta Electronic*)

Gambar 2.3 Contoh sampel warna dan komposisi RGB – nya.

Photodiode pada IC TCS 230 disusun array 8x8 dengan konfigurasi, 16 *photodiode* untuk memfilter warna merah, 16 *photodiode* untuk memfilter warna hijau, 16 *photodiode* untuk memfilter warna biru dan 16 *photodiode* tanpa filter (*clear*). Kelompok *photodiode* mana yang akan dipakai bisa diatur melalui kaki selector S2 dan S3. Dengan kombinasi fungsi dari S2 dan S3 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Kombinasi fungsi S2 dan S3

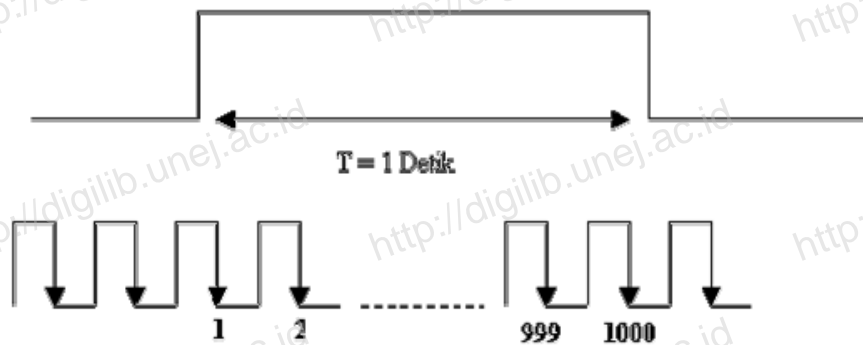
S2	S3	Photodiode yang aktif
0	0	Pemfilter Merah
0	1	Pemfilter Biru
1	0	Tanpa Filter
1	1	Pemfilter Hijau

Photodiode akan mengeluarkan arus yang besarnya sebanding dengan kadar warna dasar cahaya yang menyimpannya. Arus ini kemudian dikonversikan menjadi sinyal kotak dengan frekuensi sebanding dengan besarnya arus. Frekuensi *output* ini bisa diskala dengan mengatur kaki *selector* S0 dan S1. Penskalaan *output* sebagai berikut :

Tabel 2.2 Kombinasi fungsi S0 dan S1

S0	S1	Skala frekuensi Output
0	0	Power Down
0	1	2%
1	0	20%
1	1	100%

Dengan demikian, program yang diperlukan untuk mendapatkan komposisi RGB adalah program penghitung frekuensi. Ada dua cara yang biasa dilakukan untuk menghitung frekuensi. **Cara pertama** : Buat sebuah timer berperiode 1 detik dan selama periode itu, hitung berapa kali terjadi gelombang kotak. Ilustrasinya bisa dilihat pada gambar 1.3 di bawah ini :



Dalam 1 detik terjadi 1000 gelombang
Berarti frekuensinya 1000 Hz atau 1 KHz

(Sumber : *Delta Electronic*)

Gambar 2.4 Cara menghitung frekuensi dengan timer periode

Cara kedua : Hitung berapa periode satu gelombang, kemudian mencari frekuensi dengan menggunakan rumus :

$$f = \frac{1}{T}$$

Ilustrasinya seperti gambar 2.5 di bawah ini :



**1 gelombang penuh periodenya 1ms,
Berarti frekuensinya $1/1\text{ms} = 1000 \text{ Hz}$ atau 1 KHz**

(Sumber : *Delta Electronic*)

Gambar 2.5 Cara menghitung frekuensi dengan menghitung periode satu gelombang

2.4 LCD Display 2 x 16

Penampil LCD sangat membantu dalam pemrograman untuk menampilkan hasil perhitungan, isi variabel atau keperluan lain ke LCD untuk mengetahui proses program yang dibuat. LCD ini nantinya digunakan untuk menampilkan hasil pengambilan data dari sensor warna TCS230-DB pada alat ini. LCD yang digunakan adalah tipe M1632 yang secara fisik adalah sebagai berikut,



(Sumber : *Datasheet LCD M1632 Display*)

Gambar 2.6 Fisik dan Susunan alamat pada LCD

LCD tipe ini memiliki 2 baris dimana masing-masing baris memuat 16 karakter. Selain sangat mudah dioperasikan, kebutuhan daya LCD ini sangat rendah. Untuk rangkaian *interfacing*, LCD tidak banyak memerlukan komponen pendukung. Hanya diperlukan satu variabel resistor untuk memberikan tegangan kontras pada *matriks* LCD. Berikut pin-pin pada LCD M1632 :

Tabel 2.3 Konfigurasi pin LCD M1632

PIN	Name	Function
1	V _{SS}	Ground voltage
2	V _{CC}	+5V
3	V _{EE}	Contrast voltage
4	RS	Register Select 0 = Instruction Register 1 = Data Register
5	R/W	Read/ Write, to choose write or read mode 0 = write mode 1 = read mode
6	E	Enable 0 = start to lacht data to LCD character 1 = disable
7	DB0	LSB
8	DB1	-
9	DB2	-
10	DB3	-
11	DB4	-
12	DB5	-
13	DB6	-
14	DB7	MSB
15	BPL	Back Plane Light
16	GND	Ground voltage

2.5 Spektrofotometer

Spektrofotometer sesuai dengan namanya adalah alat yang terdiri dari *spectrometer* dan *fotometer*. Spektrometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang di transmisikan atau yang di *absorpsi*.



(Sumber : Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia)

Gambar 2.7 Fisik Spektrofotometer

Spektrofotometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur *absorbansi* dengan cara melewatkan cahaya dengan panjang gelombang tertentu pada suatu obyek kaca atau kuarsa yang disebut *kuvet*. Sebagian dari cahaya tersebut akan diserap dan sisanya akan dilewatkan. Nilai *absorbansi* dari cahaya yang dilewatkan akan sebanding dengan konsentrasi larutan di dalam *kuvet*.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Hardware

1. Adaptor
2. Sistem Minimum ATMEGA 16
3. LCD 2 x 16
4. *Downloader* USB
5. Rangkaian *regulator* tegangan
6. Sensor warna TCS230-DB
7. *Personal Computer*

3.2.2 Software

1. CodeVision AVR
2. Microsoft Exel 2007

3.3 Tahap Penelitian

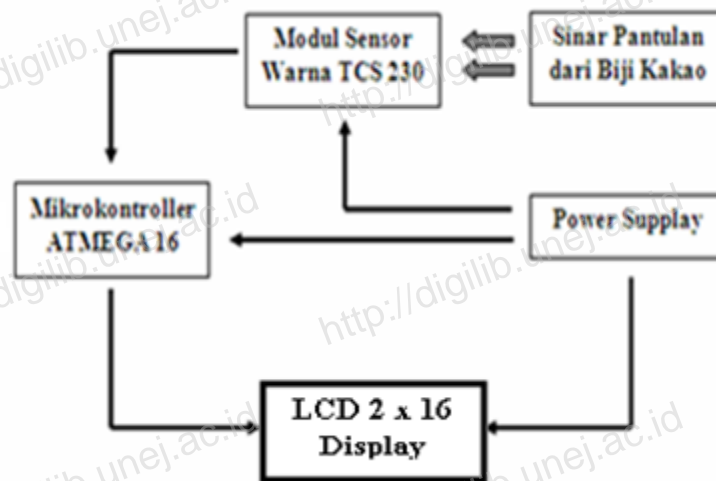
Adapun tahap yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tahap perancangan perangkat keras (*hardware*).
2. Tahap pembuatan program dengan CodeVision AVR.
3. Tahap pengambilan sampel kakao.
4. Tahap pengujian alat dan kalibrasi dengan Spektrofotometer.
5. Tahap analisis hasil dengan Microsoft Exel 2007.

3.4 Desain Penelitian

3.4.1 Desain Konstruksi Perangkat Keras (*Hardware*)

Ditinjau dari sudut pandang elektronika, alat penentu tingkat fermentasi biji kakao menggunakan ATMEGA 16 ini dapat di amati melalui blok diagram pada gambar di bawah ini,

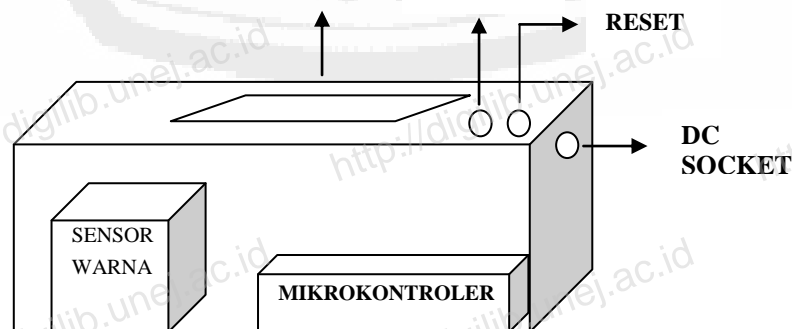


Gambar 3.1 Blok diagram kerja alat

1. Desain Tempat Alat

LCD 2 x 16

ON / OFF

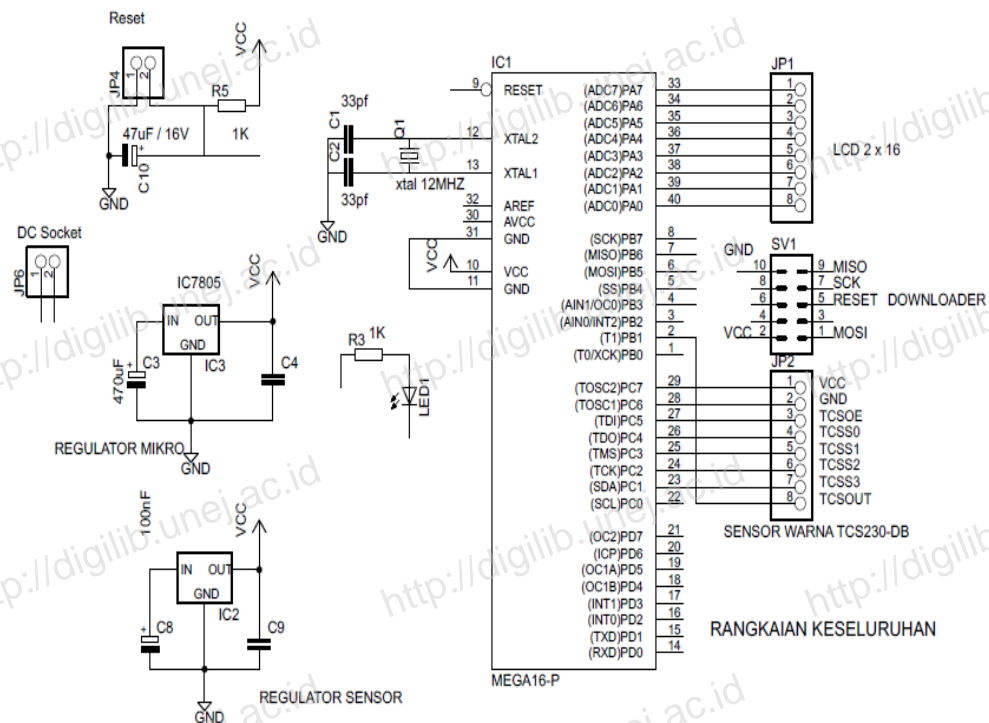


2. Mikrokontroler ATMEGA 16

Sistem minimum mikrokontroler ATMEGA 16 adalah rangkaian elektronik minimum yang diperlukan untuk beroperasinya IC mikrokontroler. Sistem minimum ini dihubungkan dengan rangkaian sensor, *LCD 2 x 16 display* untuk menjalankan fungsi tertentu. Sedangkan downloader berfungsi untuk mengkompilasi *source code* ke IC mikrokontroler yaitu ATMEGA 16.

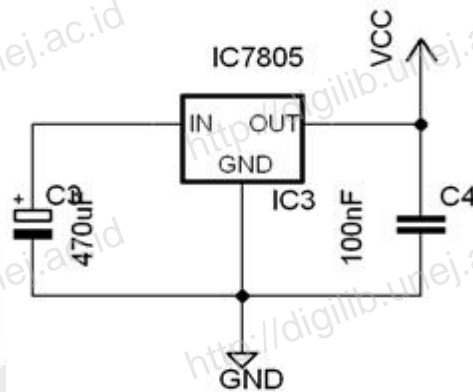
Tabel 3.2 Antarmuka Mikrokontroler terhadap *hardware* pendukung

No	ATMEGA 16	LCD 2 x 16	Sensor Warna
1	Pin A	Pin 4 - 14	-
2	Pin B1	-	Out
3	Pin C	-	PC0-PC6
6	VCC	VCC	VCC
7	GND	GND	GND



Gambar 3.3 Rangkaian Sistem Minimum ATMEGA 16 dan *Hardware* pendukung

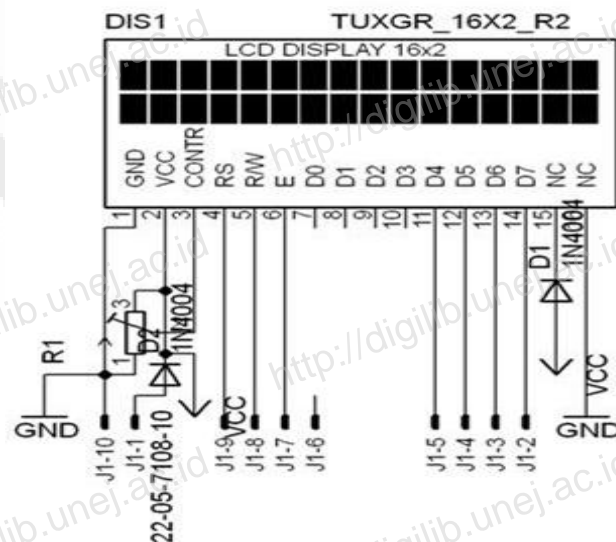
3. Rangkaian *Regulator* Tegangan



Gambar 3.4 Rangkaian *regulator* tegangan

Fungsi pemasangan *regulator* tegangan pada catu daya adalah untuk menstabilkan tegangan keluaran apabila terjadi perubahan tegangan masukan pada catu daya. Fungsi lain dari *regulator* tegangan adalah untuk perlindungan dari terjadinya hubung singkat pada beban.

4. Rangkaian LCD *Display* 2 x 16

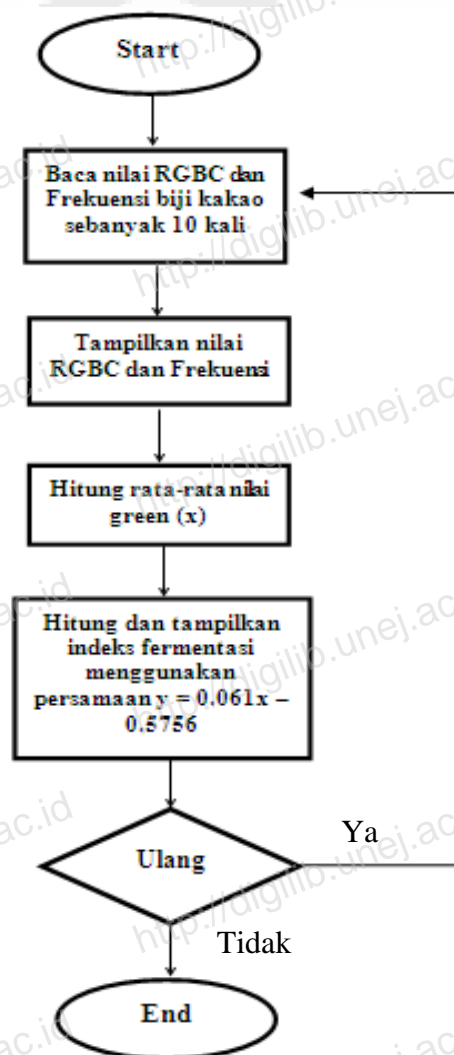


Gambar 3.5 Rangkaian LCD *Display* 2 x 16

Fungsi rangkaian ini adalah untuk menampilkan hasil pembacaan sensor warna TCS 230-DB yang berupa indeks fermentasi biji kakao dalam format *matriks LCD display 2 x16*.

3.4.2 Desain Kontruksi Perangkat Lunak (*Software*)

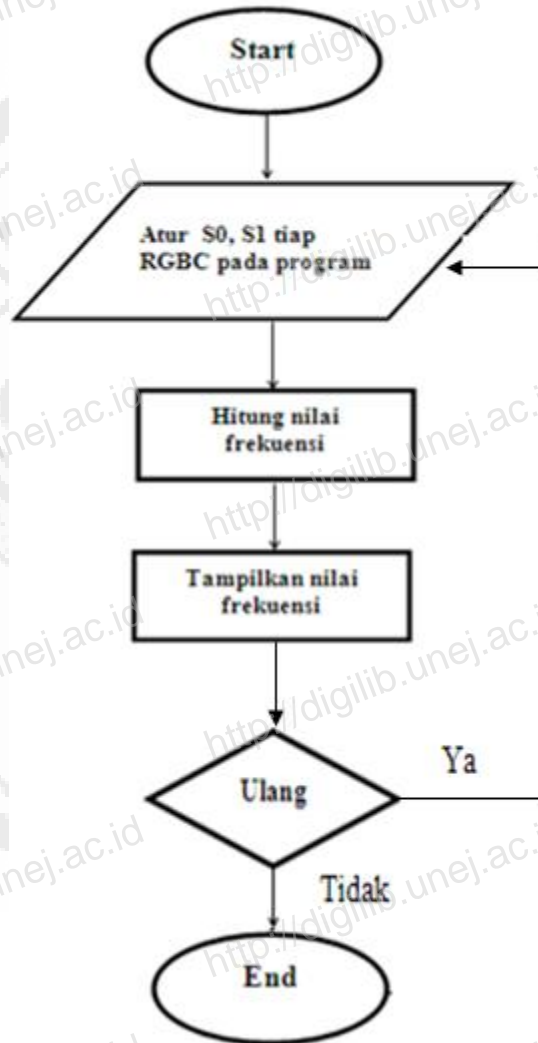
1. Diagram Alir *Software*



Gambar 3.6 Diagram Alir *Software*

2. Program Penghitung Frekuensi

Alat ini memfungsikan ATMEGA 16 sebagai pembaca frekuensi. Perhitungan frekuensi dengan cara menghitung lama waktu *high* dan *low* satu gelombang penuh sebagai periode nya, maka tinggal $1/\text{periode}$ akan menghasilkan nilai frekuensi. Output dari sensor warna ini adalah berupa frekuensi. Berikut ini gambar diagram alirnya



Gambar 4.3 Diagram alir penghitung frekuensi

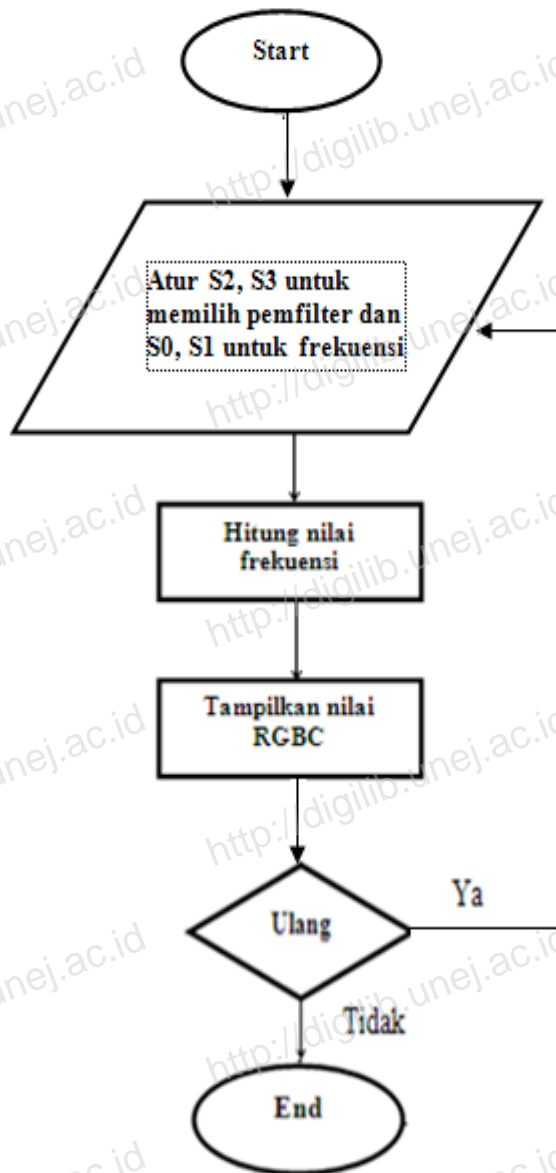
3. Pengubah Frekuensi menjadi RGB (*Red, Green, Blue*)

Sensor ini mempunyai 4 buah mode filter warna yaitu mode *clear*, mode filter merah, mode filter hijau, mode filter biru. Di sini filter yang dimaksud adalah *range* panjang gelombang atau λ cahaya yang bisa diterima oleh photodiode. *Output* akhir dari sensor ini adalah komposisi warna *Red-Green-Blue* atau bisa dikenal dengan RGB. Untuk bisa mendapatkan RGB dari suatu *object*, maka sensor harus dikalibrasi dulu dengan warna putih sebagai referensinya. Jarak pengambilan data harus 2 cm dari sensor. Kalibrasi warna putih menggunakan kertas HVS putih.

Kalibrasi dilakukan dengan cara mengganti mode filter. yang pertama filter diset mode merah kemudian frekuensinya dicatat dan perlakuan ini berlaku juga untuk filter hijau dan filter biru. Nilai frekuensi yang diperoleh diasumsikan sebagai nilai maksimum atau 255 untuk R, G dan B.

Frekuensi maksimum tersebut kemudian dibagi dengan 255 untuk mendapatkan resolusi 8 bit tiap warna. Pada project ini, mode filter berganti terus-menerus secara otomatis dengan urutan R-G-B. Untuk mengetahui setting dari filter silakan merujuk ke *datasheet*.

Di bawah ini gambar dari diagram alir program pengubah frekuensi menjadi nilai *red, green, blue*, dan *clear*. Di sini terdapat variabel S0 dan S1 sebagai saklar untuk mengatur penskalaan *ouput* frekuensi sensor. Serta S2 dan S3 sebagai saklar untuk memilih pemfilter yang akan digunakan.



Gambar 4.4 Diagram alir pengubah frekuensi ke RGBC

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Perangkat Keras (*Hardware*)

Pengujian rangkaian ditujukan untuk mengetahui sejauh mana kinerja dari masing-masing rangkaian sehingga dapat diperoleh kinerja yang pasti pada masing-masing blok rangkian dan dapat digunakan dengan baik dalam sistem

4.1.1 Rangkaian Sistem Minimum ATMEGA 16

Sistem minimum mikrokontroler ATMEGA 16 adalah rangkaian elektronik minimum yang diperlukan untuk beroperasinya IC mikrokontroler. Sistem minimum ini dihubungkan dengan rangkaian sensor dan *LCD 2 x 16 display* untuk menjalankan fungsi tertentu. Pengujian rangkaian sistem minimum ini dilakukan dengan cara mengkompile *source code* ke dalam IC ATMEGA 16 untuk menguji berbagai fitur mikrokontroller yang ada. Dari *source code* yang telah dikompile ini, dapat dilihat bekerja atau tidaknya rangkaian sistem minimum pada alat ini. Tabel 4.1 berikut adalah hasil pengujian mikrokontroller ATMEGA 16 yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jalur I/Oserta pengujian LCD 2 x 16.



Gambar 4.1 Sistem Minimum ATMEGA 16

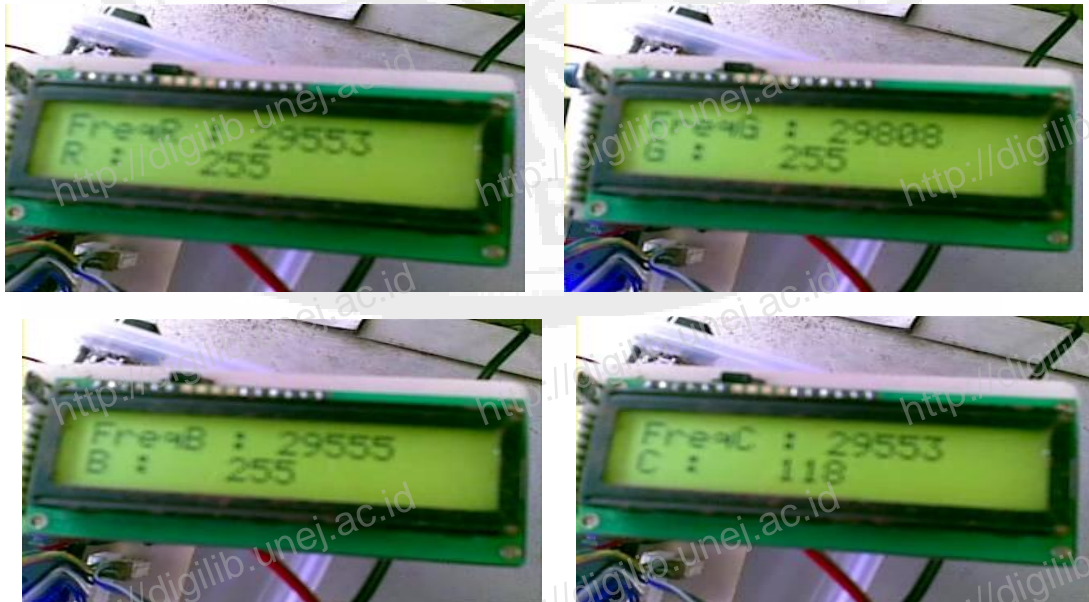
Tabel 4.1 Pengujian Sistem Minimum Mikrokontroler ATMEGA 16

No	Bagian Pengujian	Hasil Pengujian	
		Berhasil	Gagal
1	Port A, B, C dan D	√	-
2	LCD	√	-
3	Sensor Warna	√	-

Dari data di atas dapat dilihat bahwa sistem minimum mikrokontroler ATMEGA 16 dapat bekerja dengan baik pada bagian – bagian yang diperlukan sesuai dengan yang diharapkan.

4.1.2 Rangkaian LCD *display* 2 x 16

LCD *display* 2 x 16 pada alat ini digunakan untuk menampilkan data yang berupa komposisi *Red*, *Green*, *Blue*, *Clear* serta frekuensi pada sampel kakao. Data tersebut berasal dari pembacaan sensor warna TCS230-DB yang kemudian diolah oleh Mikrokontroler ATMEGA 16. Dimana komposisi tersebut nantinya akan diolah menjadi indeks fermentasi kakao. Untuk mengetahui kinerja dari LCD tersebut maka dilakukan pengujian sebagai berikut :

Gambar 4.2 Tampilan komposisi *Red*, *Green*, *Blue*, dan *Clear*

Berdasarkan gambar di atas dapat dikatakan bahwa LCD *display* 2 x 16 ini bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan. Sehingga dapat diketahui nilai RGBC dari masing-masing sampel kakao nantinya.

4.2 Pengujian Perangkat Lunak (*Software*)

Program pada alat ini dibuat menggunakan *software* CodeVision AVR yang menggunakan bahasa C. Pengujian *software* ditujukan untuk mengetahui sejauh mana kinerja dari *software* tersebut sehingga diperoleh kinerja yang baik.

Untuk tahap pengujian *software* terdapat dua langkah yaitu sebagai berikut :

4.2.1 Pengujian Program Penghitung Frekuensi

Alat ini memfungsikan ATMEGA 16 sebagai pembaca frekuensi. Perhitungan frekuensi dengan cara menghitung lama waktu *high* dan *low* satu gelombang penuh sebagai periode nya, maka tinggal 1/periode akan menghasilkan nilai frekuensi. Untuk mengaktifkan *output* frekuensi dari sensor warna TCS230-DB, tinggal mengatur nilai skala S0 dan S1 pada program sebagai *selector output* frekuensi.

Berikut adalah listing program pengatur *output* frekuensi

```
*****
#define redref (19456/255)
#define bluref (27000/255)
#define clearref (63699/255)
#define greenref (19862/255)
```

```
#define LED PORTC.5
#define S0 PORTC.4
#define S1 PORTC.3
```

```
LED=1;
S0=1;
S1=1;
lcd_clear();
while (1)
{
```

```

// Place your code here
//***** baca red *****
lcd_gotoxy(0,0);
sprintf(lcd_buffer,"Frekuensi R : %5u",datane);
lcd_puts(lcd_buffer);
//***** baca blue *****
lcd_gotoxy(0,0);
sprintf(lcd_buffer,"Frekuensi B : %5u",datane);
lcd_puts(lcd_buffer);
//***** baca clear *****
LED=1;S0=1;S1=1;
clear_filter();
LED=0;S0=0;S1=0;
printf("C : %5u",datane);

lcd_gotoxy(0,0);
sprintf(lcd_buffer,"Frekuensi C : %5u",datane);
lcd_puts(lcd_buffer);
//***** baca green *****
LED=1;S0=1;S1=1;
green_filter();
LED=0;S0=0;S1=0;
printf("G : %5u",datane);
lcd_gotoxy(0,0);

```

Di bawah ini hasil dari pembacaan sensor yang berupa *output* frekuensi dari berbagai macam warna

Tabel 4.2 Nilai *output* sensor warna berupa frekuensi berbagai warna

No.	Warna	Nilai Frekuensi RGB Sensor		
		Frekuensi R	Frekuensi G	Frekuensi B
1	Putih	29.553 Hz	29.808 Hz	29.555 Hz
2	Hitam	43 Hz	43 Hz	43 Hz
3	Merah	19.067 Hz	1.074 Hz	2.052 Hz
4	Hijau	3.080 Hz	22.047 Hz	6.068 Hz
5	Biru	4.021 Hz	5.032 Hz	24.008 Hz
6	Kuning	20.023 Hz	23.099 Hz	6.087 Hz
7	Oranye	15.345 Hz	10.364 Hz	1.034 Hz
8	Coklat	17.987 Hz	463 Hz	463 Hz
9	Ungu	18.094 Hz	6.015 Hz	21.052 Hz
10	Pink	18.987 Hz	15.638 Hz	17.235 Hz

4.2.2 Pengubah Frekuensi menjadi RGBC (*Red, Green, Blue, Clear*)

Sensor ini mempunyai 4 buah mode filter warna yaitu mode *clear*, mode filter merah, mode filter hijau, mode filter biru. Di sini filter yang dimaksud adalah *range* panjang gelombang atau λ cahaya yang bisa diterima oleh photodiode. *Output* akhir dari sensor ini adalah komposisi warna *Red-Green-Blue-Clear* atau bisa dikenal dengan RGBC. Untuk bisa mendapatkan RGBC dari suatu *object*, maka sensor harus dikalibrasi dulu dengan warna putih sebagai referensinya. Jarak pengambilan data harus 2 cm (*lampiran C*) dari sensor. Kalibrasi warna putih menggunakan kertas HVS putih.

Kalibrasi dilakukan dengan cara mengganti mode filter. yang pertama filter diset mode merah kemudian frekuensinya dicatat dan perlakuan ini berlaku juga untuk filter hijau dan filter biru. Nilai frekuensi yang diperoleh diasumsikan sebagai nilai maksimum atau 255 untuk R ,G, B dan C. Frekuensi maksimum tersebut kemudian dibagi dengan 255 untuk mendapatkan resolusi 8 bit tiap warna. Pada project ini, mode filter berganti terus-menerus secara otomatis dengan urutan R-G-B-C. Untuk mengetahui setting dari filter silakan merujuk ke *datasheet*.

Berikut adalah diagram alir beserta contoh sebagian listing program pengubah frekuensi menjadi RGBC, untuk program lengkap ada di bagian lampiran.

Berikut adalah potongan listing program pengubah frekuensi ke RGBC

```
*****
#define redref (19456/255)
#define bluref (27000/255)
#define clearref (63699/255)
#define greenref (19862/255)

#define LED PORTC.5
#define S0 PORTC.4
#define S1 PORTC.3
LED=1;
S0=1;
S1=1;
led_clear();
while (1)
```

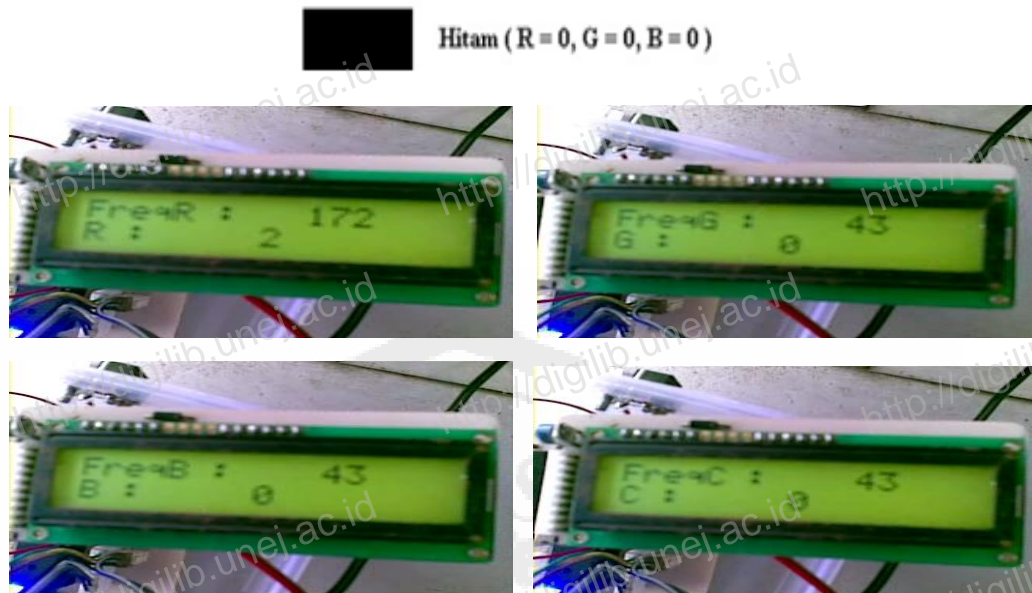
```

-----/
void red_filter()
{
    TCNT1H=0x00;
    TCNT1L=0x00;
    S2=0;
    S3=0;
    delay_ms(100);
    TCCR1B=0x87;
    delay_ms(1000);
    TCCR1B=0x00;
    datane = TCNT1;
}
void blue_filter()
{
    // Place your code here
    //***** baca red *****

    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(lcd_buffer,"Frekuensi R : %5u",datane);
    lcd_puts(lcd_buffer);
    red=(datane/redref);
    if(red>=255) red=255;
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(lcd_buffer,"Red: %5d",red);
    lcd_puts(lcd_buffer);
    delay_ms(5000);
    lcd_clear();
}

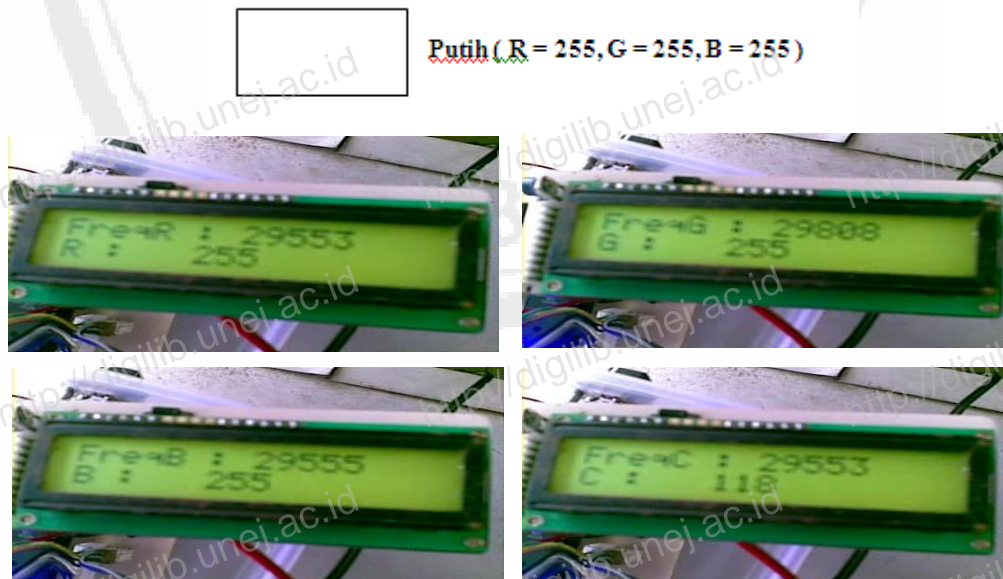
```

Hasil dari pengujian program penghitung frekuensi serta pengubah frekuensi ke RBGC tampak seperti pada gambar di bawah ini. Program sensor dikalibrasi dengan membaca komposisi RGBC pada warna hitam dan putih.



Gambar 4.5 Komposisi Red, Green, Blue, dan Clear pada warna hitam

Pada gambar di atas tampak nilai RGBC dari warna hitam. Seharusnya nilai R adalah 0, ini menandakan bahwa obyek / media yang digunakan kurang hitam benar sehingga komposisi R bernilai 2.



Gambar 4.6 Komposisi Red, Green, Blue, dan Clear pada warna putih

Selain diuji dengan warna hitam dan putih, sensor warna TCS230-DB ini juga diuji untuk membaca nilai *Red*, *Green*, *Blue*, *Clear* pada warna lainnya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa peka sensor terhadap pembacaan warna – warna lainnya. Hasil dari pembacaan tersebut seperti pada tabel berikut ini,

Tabel 4.3 Pengujian Sensor dengan Berbagai Warna

No.	Warna	Nilai RGB Refrensi			Nilai RGB Sensor		
		R	G	B	R	G	B
1	Putih	255	255	255	255	255	255
2	Hitam	0	0	0	0	0	0
3	Merah	255	0	0	145	23	24
4	Hijau	0	255	0	18	184	17
5	Biru	0	0	255	21	62	107
6	Kuning	255	255	0	224	176	106
7	Oranye	255	165	0	197	64	39
8	Coklat	165	42	42	119	41	21
9	Ungu	128	0	128	128	45	98
10	Pink	255	192	203	243	188	187

Jika melihat dari tabel diatas ada beberapa warna yang memiliki perbedaan nilai *Red*, *Green*, *Blue* antara warna refrensi dengan warna hasil pembacaan sensor. Hal ini dikarenakan banyaknya variasi warna yang terkandung di dalam setiap warna dasar, sehingga menimbulkan variasi nilai *Red*, *Green*, *Blue* yang berbeda pula dengan warna dasarnya. Oleh karena itu diperlukan warna yang benar-benar menyerupai warna dasar yang akan diuji sehingga menghasilkan nilai *Red*, *Green*, *Blue* yang sesuai.

4.3 Proses Pengambilan Sampel dan Kalibrasi dengan Spektrofotometer

Sampel biji kakao yang diambil berasal dari kakao milik Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Sampel yang diambil mulai dari *unfermented* (Hari ke – 0) hingga hari ke – 5. Dalam pengambilan sampel biji kakao terdapat perlakuan yang harus diperhatikan karena, jika salah nantinya akan berpengaruh pada pembacaan nilai RGBC serta indeks fermentasi.

4.3.1 Pengambilan Sampel

1. Sampel kakao yang diambil mulai hari ke - 0 (*unfermented*) hingga hari ke – 5 harus sama waktu (jam) pengambilannya.
2. Pengambilan sampel pada kotak fermentasi 10 cm dari atas dan ambil sampel yang berada di tengah karena sampel tersebut cenderung tidak terkontaminasi udara luar, sehingga memiliki fermentasi yang baik.
3. Letakkan semua sampel pada kantong plastik kedap udara lalu simpan di *freezer* agar tidak terkontaminasi udara luar, sehingga tidak mengganggu proses fermentasi.

4.3.2 Kalibrasi dengan Spektrofotometer

Pada proses kalibrasi dengan spektrofotometer terdapat tahap-tahap yang harus dilakukan, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Persiapkan sampel biji kakao mulai dari *unfermented* (hari ke – 0 hingga hari ke – 5.
2. Buang kulit luar biji kakao hingga bersih.
3. Setelah itu geruslah dengan menggunakan mortar sampai halus.
4. Masukkan sampel yang telah digerus ke dalam gelas ukur.
5. Timbanglah pada timbangan analitik (*mettler toledo*) dengan berat tiap sampel 0,5 gram.

1. Lalu berikan cairan *metanolHCL* pada tiap sampel dengan konsentrasi 50 ml.
2. Tutup mulut gelas ukur sampel dengan plastik, lalu simpan di dalam lemari es dan biarkan selama 1 hari.
3. Setelah dibiarkan 1 hari, ambil sampel lalu letakkan pada gelas ukur dengan terlebih dahulu menyaringnya.
4. Tuang sampel yang telah disaring ke kuvet spektrofotometer, lalu operasikan spektrofotometer untuk membaca indeks fermentasinya.



Gambar 4.7 Tahap kalibrasi dengan spektrofotometer

4.4 Olah Data Pengambilan Sampel dan Kalibrasi

Pengambilan sampel dilakukan pada tiap-tiap tingkat fermentasi biji kakao mulai dari sampel *unfermented* hingga hari ke – 5 yang nantinya di dapat data grafik dari pengujian alat. Hasil tren grafik tersebut nantinya akan dibandingkan dengan data hasil kalibrasi spektrofotometer untuk mendapatkan nilai Indeks Fermentasi.

4.4.1 Pemfilter warna merah (*Red*)

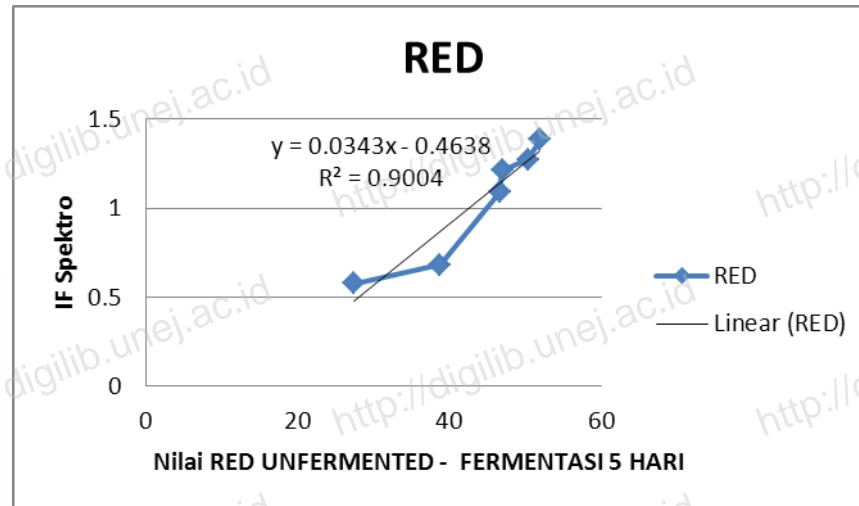
Berikut hasil pengujian alat yang di tulis di Microsoft Exel 2007

Tabel 4.4 Nilai *Red* dan Indeks Fermentasi Spektro

Percobaan	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari	5 Hari
1	29	40	49	46	49	52
2	28	40	48	46	49	52
3	28	39	47	49	50	52
4	28	39	47	47	50	52
5	27	39	46	47	51	52
6	27	39	46	47	51	52
7	27	38	46	47	51	52
8	27	38	46	47	51	52
9	27	38	46	47	51	52
10	27	38	46	47	51	52
Rata-rata	27.5	38.8	46.7	47	50.4	52

Indeks Fermentasi Spektrofotometer						
Hari	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari	5 Hari
Nilai	0.5758	0.6798667	1.0901	1.2101667	1.2706	1.3842

Nilai warna merah tersebut dirata-rata lalu hasilnya dibandingkan dengan Indeks Fermentasi Spektrofotometer, dengan menggunakan tipe regresi *linear* sehingga diperoleh grafik dan persamaan seperti berikut ini :



Gambar 4.8 Grafik Regresi *Linear* Hubungan IF dengan Nilai *Red*

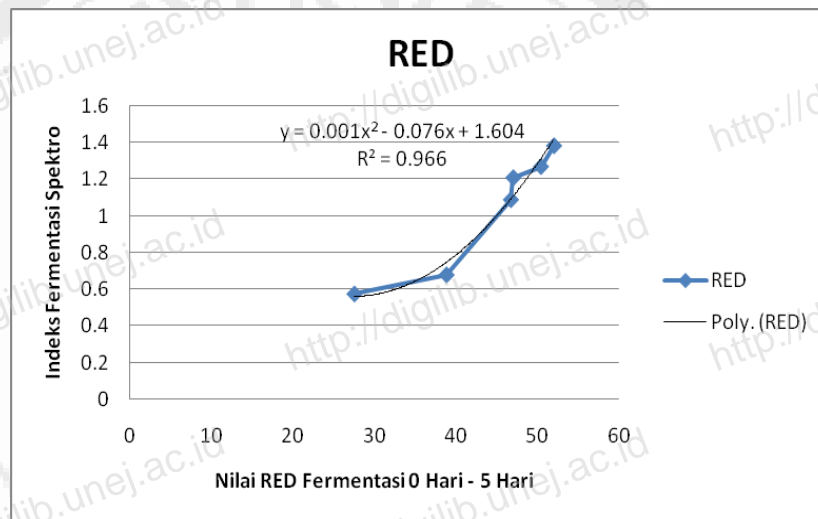
Dengan menggunakan persamaan $y = 0.0343x - 0.4638$ tersebut, dapat dicari nilai dari Indeks Fermentasi alat. Dimana variabel (x) itu sendiri adalah nilai rata-rata dari warna merah seperti tercantum pada tabel di atas. Berikut nilai Indeks Fermentasi alat beserta error persennya.

Tabel 4.5 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter *Red* regresi *linear*

FERMENTASI	IF SPEKTRO	IF ALAT	ERROR %
0 HARI	0.5758	0.47945	16.73%
1 HARI	0.6798667	0.86704	27.53%
2 HARI	1.0901	1.13801	4.40%
3 HARI	1.2101667	1.1483	5.11%
4 HARI	1.2706	1.2649	0.57%
5 HARI	1.3842	1.3198	4.65%

Nilai error yang jelek pada pemfilter warna merah ini adalah 16.73 % dan 27.63%. Jika menggunakan pemfilter warna merah sebagai acuan untuk Indeks Fermentasi, maka nilai error maksimal sebesar 27.53%.

Selain itu, digunakan juga tipe regresi *polynomial* untuk mencari grafik dan persamaan pemfilter warna merah dalam menentukan indeks fermentasi. Hal ini bertujuan untuk membandingkan error persen yang dihasilkan antara regresi linear dengan polynomial, dan menentukan tipe regresi apa yang akan dipakai. Berikut gambar grafik dan persamaan menggunakan regresi polynomial pangkat dua :



Gambar 4.9 Grafik Regresi *Polynomial* Hubungan IF dengan Nilai Red

Dengan menggunakan persamaan $y = 0.001x^2 - 0.076x + 1.604$ tersebut, dapat dicari nilai dari Indeks Fermentasi alat. Dimana variabel (x) itu sendiri adalah nilai rata-rata dari warna merah seperti tercantum pada tabel di atas. Berikut nilai Indeks Fermentasi alat beserta error persennya.

Tabel 4.6 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter *Red* regresi *polynomial*

FERMENTASI	IF SPEKTRO	IF ALAT	ERROR %
0 HARI	0.5758	0.5645	1.96%
1 HARI	0.6798667	0.751176	10.48%
2 HARI	1.0901	1.09403	0.36%
3 HARI	1.2101667	1.1105	8.23%
4 HARI	1.2706	1.314704	3.47%
5 HARI	1.3842	1.4222	2.73%

Nilai error yang jelek jika pada pemfilter warna merah ini adalah 10.48 % dan 8.23%. Jika menggunakan pemfilter warna merah sebagai acuan untuk Indeks Fermentasi, maka nilai error maksimal sebesar 10.48%.

4.4.2 Pemfilter Warna Hijau (*Green*)

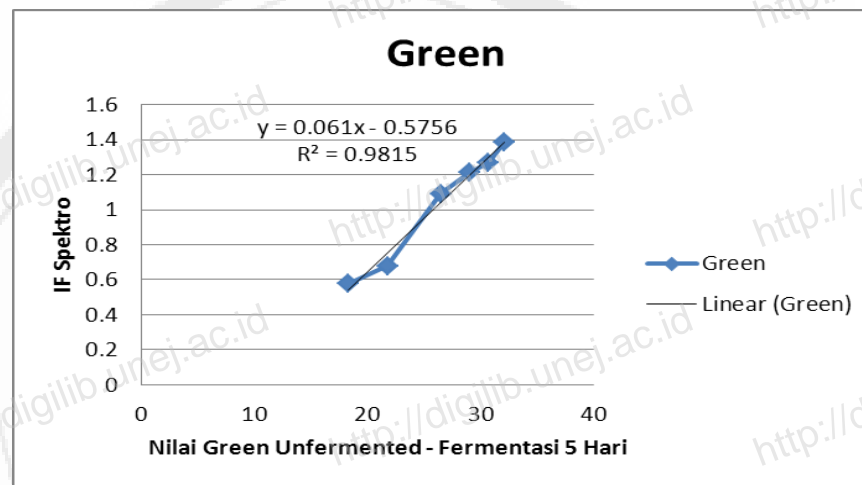
Berikut hasil pengujian alat yang di tulis di Microsoft Exel 2007

Tabel 4.7 Nilai *Green* dan Indeks Fermentasi Spektro

Percobaan	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari	5 Hari
1	19	23	27	29	30	33
2	19	23	26	29	30	32
3	19	23	26	29	30	32
4	18	22	25	29	31	32
5	18	22	25	29	31	32
6	18	21	25	29	31	32
7	18	21	27	29	31	32
8	18	21	28	29	31	32
9	18	21	28	29	31	32
10	18	21	28	29	31	32
Rata-rata	18.3	21.8	26.5	29	30.7	32.1

Indeks Fermentasi Spektrofotometer						
Hari	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari	5 Hari
Nilai	0.5758	0.6798667	1.0901	1.2101667	1.2706	1.3842

Nilai warna hijau tersebut dirata-rata lalu hasilnya dibandingkan dengan Indeks Fermentasi Spektrofotometer, dengan menggunakan tipe regresi *linear* sehingga diperoleh grafik dan persamaan seperti berikut ini:



Gambar 4.10 Grafik Regresi *Linear* Hubungan IF dengan Nilai *Green*

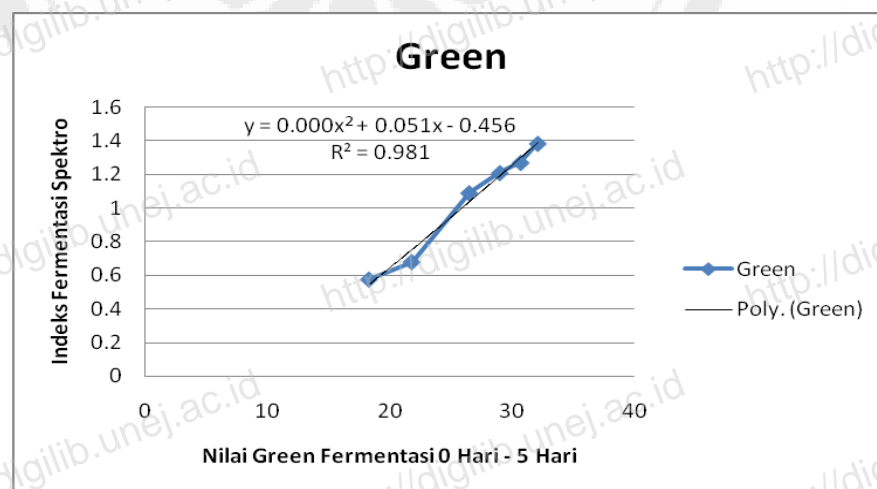
Dengan menggunakan persamaan $y = 0.061x - 0.5756$ tersebut, dapat dicari nilai dari Indeks Fermentasi alat. Dimana variabel (x) itu sendiri adalah nilai rata-rata dari warna hijau seperti tercantum pada tabel di atas. Berikut nilai Indeks Fermentasi alat beserta error persennya.

Tabel 4.8 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter *Green* regresi
linear

FERMENTASI	IF SPEKTRO	IF ALAT	ERROR %
0 HARI	0.5758	0.5407	6.09%
1 HARI	0.6798667	0.7542	10.90%
2 HARI	1.0901	1.0409	4.51%
3 HARI	1.2101667	1.1934	1.38%
4 HARI	1.2706	1.2971	2.08%
5 HARI	1.3842	1.3825	0.12%

Nilai error yang jelek pada pemfilter warna hijau ini adalah 6.09 % dan 10.90%. Jika menggunakan pemfilter warna hijau sebagai acuan untuk Indeks Fermentasi, maka nilai error maksimal sebesar 10.90%.

Selain itu, digunakan juga tipe regresi *polynomial* untuk mencari grafik dan persamaan pemfilter warna hijau dalam menentukan indeks fermentasi. Hal ini bertujuan untuk membandingkan error persen yang dihasilkan antara regresi linear dengan polynomial, dan menentukan tipe regresi apa yang akan dipakai. Berikut gambar grafik dan persamaan menggunakan regresi polynomial pangkat dua :



Gambar 4.11 Grafik Regresi *Polynomial* Hubungan IF dengan Nilai *Green*

Dengan menggunakan persamaan $y = 0.000x^2 + 0.051x - 0.456$ tersebut, dapat dicari nilai dari Indeks Fermentasi alat. Dimana variabel (x) itu sendiri adalah nilai rata-rata dari warna hijau seperti tercantum pada tabel di atas.

Berikut nilai Indeks Fermentasi alat beserta error persennya.

Tabel 4.9 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter *Green* regresi *polynomial*

FERMENTASI	IF SPEKTRO	IF ALAT	ERROR %
0 HARI	0.5758	0.51078	11.24%
1 HARI	0.6798667	0.703324	3.45%
2 HARI	1.0901	0.965725	11.40%
3 HARI	1.2101667	1.1071	8.51%
4 HARI	1.2706	1.203949	5.24%
5 HARI	1.3842	1.284141	7.22%

Nilai error yang jelek jika pada pemfilter warna hijau ini adalah 11.40 % dan 11.24 %. Jika menggunakan pemfilter warna hijau sebagai acuan untuk Indeks Fermentasi, maka nilai error maksimal sebesar 11.40 %.

4.4.3 Pemfilter Warna Biru (*Blue*)

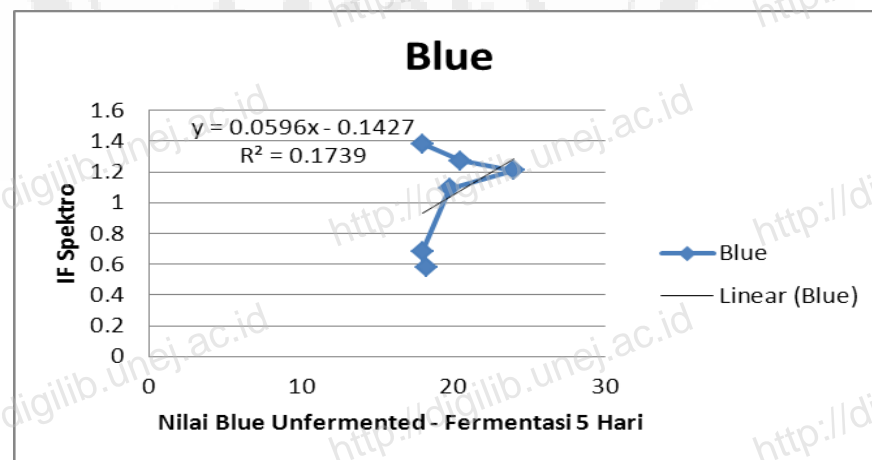
Berikut hasil pengujian alat yang di tulis di Microsoft Exel 2007

Tabel 4.10 Nilai *Blue* dan Indeks Fermentasi Spektro

Percobaan	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari	5 Hari
1	20	21	21	24	20	18
2	19	20	20	24	20	18
3	18	19	20	24	20	18
4	18	18	20	24	20	18
5	18	17	19	24	20	18
6	18	17	19	24	21	18
7	18	17	19	24	21	18
8	18	17	20	24	21	18
9	18	17	20	24	21	18
10	18	17	20	24	21	18
Rata-rata	18.3	18	19.8	24	20.5	18

Indeks Fermentasi Spektrofotometer						
Hari	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari	5 Hari
Nilai	0.5758	0.6798667	1.0901	1.2101667	1.2706	1.3842

Nilai warna biru tersebut dirata-rata lalu hasilnya dibandingkan dengan Indeks Fermentasi Spektrofotometer, dengan menggunakan tipe regresi *linear* sehingga diperoleh grafik dan persamaan seperti berikut ini :



Gambar 4.12 Grafik Regresi *Linear* Hubungan IF dengan Nilai *Blue*

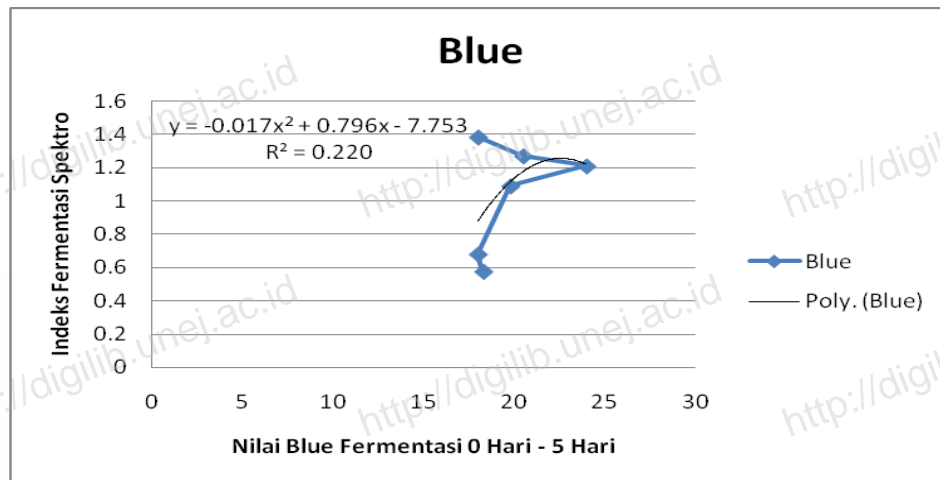
Dengan menggunakan persamaan $y = 0.0596x - 0.1427$ tersebut, dapat dicari nilai dari Indeks Fermentasi alat. Dimana variabel (x) itu sendiri adalah nilai rata-rata dari warna biru seperti tercantum pada tabel di atas. Berikut nilai Indeks Fermentasi alat beserta error persennya.

Tabel 4.11 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter *Blue* regresi *linear*

FERMENTASI	IF SPEKTRO	IF ALAT	ERROR %
0 HARI	0.5758	0.94798	64.63%
1 HARI	0.6798667	0.9301	36.80%
2 HARI	1.0901	1.03738	4.84%
3 HARI	1.2101667	1.2877	6.41%
4 HARI	1.2706	1.0791	15.07%
5 HARI	1.3842	0.9301	32.80%

Nilai error yang jelek pada pemfilter warna biru ini adalah 36.80% dan 64.63%. Jika menggunakan pemfilter warna biru sebagai acuan untuk Indeks Fermentasi, maka nilai error maksimal sebesar 64.63%. Pemfilter biru ini tidak bisa dijadikan acuan karena error persennya lebih dari 50%.

Selain itu, digunakan juga tipe regresi *polynomial* untuk mencari grafik dan persamaan pemfilter warna biru dalam menentukan indeks fermentasi. Hal ini bertujuan untuk membandingkan error persen yang dihasilkan antara regresi linear dengan *polynomial*, dan menentukan tipe regresi apa yang akan dipakai. Berikut gambar grafik dan persamaan menggunakan regresi *polynomial* pangkat dua :



Gambar 4.13 Grafik Regresi *Polynomial* Hubungan IF dengan Nilai *Blue*

Dengan menggunakan persamaan $y = 0.017x^2 + 0.796x - 7.753$ tersebut, dapat dicari nilai dari Indeks Fermentasi alat. Dimana variabel (x) itu sendiri adalah nilai rata-rata dari warna biru seperti tercantum pada tabel di atas. Berikut nilai Indeks Fermentasi alat beserta error persennya.

Tabel 4.12 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter *Blue* regresi *polynomial*

FERMENTASI	IF SPEKTRO	IF ALAT	ERROR %
0 HARI	0.5758	1.12067	94.62%
1 HARI	0.6798667	1.067	56.94%
2 HARI	1.0901	1.34312	23.21%
3 HARI	1.2101667	1.559	28.82%
4 HARI	1.2706	1.42075	11.81%
5 HARI	1.3842	1.067	22.91%

Nilai error yang jelek pada pemfilter warna biru ini adalah 94.62% dan 56.94%. Jika menggunakan pemfilter warna biru sebagai acuan untuk Indeks Fermentasi, maka nilai error maksimal sebesar 94.62%. Pemfilter biru ini tidak bisa dijadikan acuan karena error persennya lebih dari 50%.

4.4.4 Pemfilter Clear

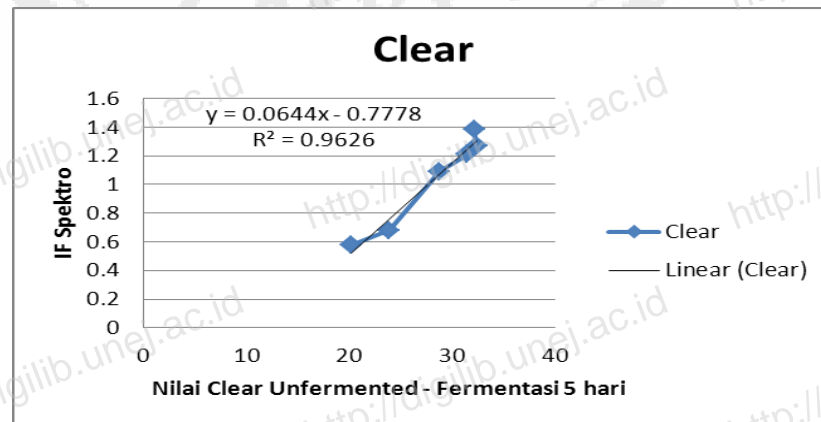
Berikut hasil pengujian alat yang di tulis di Microsoft Exel 2007

Tabel 4.13 Nilai *Clear* dan Indeks Fermentasi Spektro

Percobaan	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari	5 Hari
1	21	26	30	32	31	33
2	21	25	30	32	32	33
3	20	25	29	32	32	32
4	20	24	29	32	32	32
5	20	24	29	32	32	32
6	20	23	29	31	33	32
7	20	23	28	31	33	32
8	20	23	28	31	33	32
9	20	23	28	31	33	32
10	20	23	28	31	33	32
Rata-rata	20.2	23.9	28.8	31.5	32.4	32.2

Indeks Fermentasi Spektrofotometer						
Hari	0 Hari	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari	5 Hari
Nilai	0.5758	0.6798667	1.0901	1.2101667	1.2706	1.3842

Nilai *clear* tersebut dirata-rata lalu hasilnya dibandingkan dengan Indeks Fermentasi Spektrofotometer, dengan menggunakan tipe regresi *linear* sehingga diperoleh grafik dan persamaan seperti berikut ini:



Gambar 4.14 Grafik Regresi *Linear* Hubungan IF dengan Nilai *Clear*

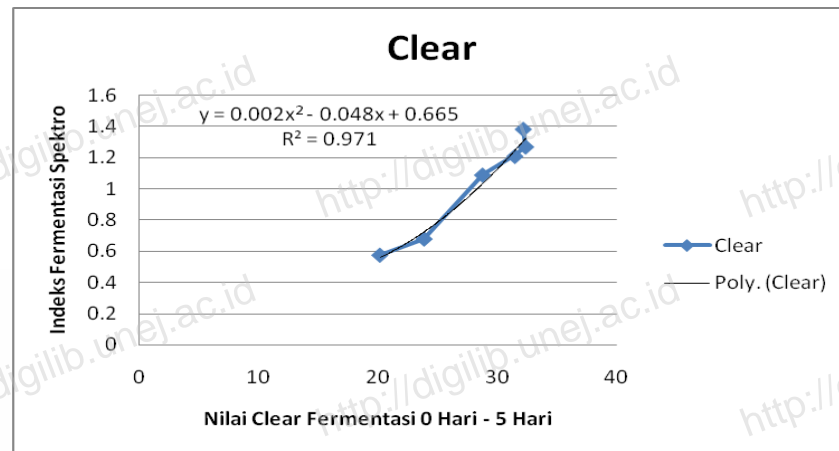
Dengan menggunakan persamaan $y = 0.0644x - 0.7778$ tersebut, dapat dicari nilai dari Indeks Fermentasi alat. Dimana variabel (x) itu sendiri adalah nilai rata-rata dari warna *clear* seperti tercantum pada tabel di atas. Berikut nilai Indeks Fermentasi alat beserta error persennya.

Tabel 4.14 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter *Clear* regresi linear

FERMENTASI	IF SPEKTRO	IF ALAT	ERROR %
0 HARI	0.5758	0.52308	9.15%
1 HARI	0.6798667	0.76136	11.98%
2 HARI	1.0901	1.07692	1.21%
3 HARI	1.2101667	1.2508	3.36%
4 HARI	1.2706	1.30876	3.00%
5 HARI	1.3842	1.29588	6.38%

Nilai error yang jelek pada pemfilter *clear* ini adalah 9.15% dan 11.98%. Jika menggunakan pemfilter *clear* sebagai acuan untuk Indeks Fermentasi, maka nilai error maksimal sebesar 11.98%.

Selain itu, digunakan juga tipe regresi *polynomial* untuk mencari grafik dan persamaan pemfilter *clear* dalam menentukan indeks fermentasi. Hal ini bertujuan untuk membandingkan error persen yang dihasilkan antara regresi linear dengan *polynomial*, dan menentukan tipe regresi apa yang akan dipakai. Berikut gambar grafik dan persamaan menggunakan regresi *polynomial* pangkat dua.



Gambar 4.15 Grafik regresi *polynomial* Hubungan IF dengan Nilai *Clear*

Dengan menggunakan persamaan $y = 0.002x^2 - 0.048x + 0.665$ tersebut, dapat dicari nilai dari Indeks Fermentasi alat. Dimana variabel (x) itu sendiri adalah nilai rata-rata dari *clear* seperti tercantum pada tabel di atas. Berikut nilai Indeks Fermentasi alat beserta error persennya.

Tabel 4.15 Perbandingan nilai IF Spektro dengan IF pemfilter *Clear* regresi *polynomial*

FERMENTASI	IF SPEKTRO	IF ALAT	ERROR %
0 HARI	0.5758	0.51148	11.17%
1 HARI	0.6798667	0.66022	2.8%
2 HARI	1.0901	0.94148	13.6%
3 HARI	1.2101667	1.1375	6.00%
4 HARI	1.2706	1.20932	4.82%
5 HARI	1.3842	1.2124	12.4%

Nilai error yang jelek pada pemfilter *clear* ini adalah 9.15% dan 11.98%. Jika menggunakan pemfilter *clear* sebagai acuan untuk Indeks Fermentasi, maka nilai error maksimal sebesar 11.98%.

4.4.5 Nilai Indeks Fermentasi Alat dengan Indeks Fermentasi Spektrofotometer

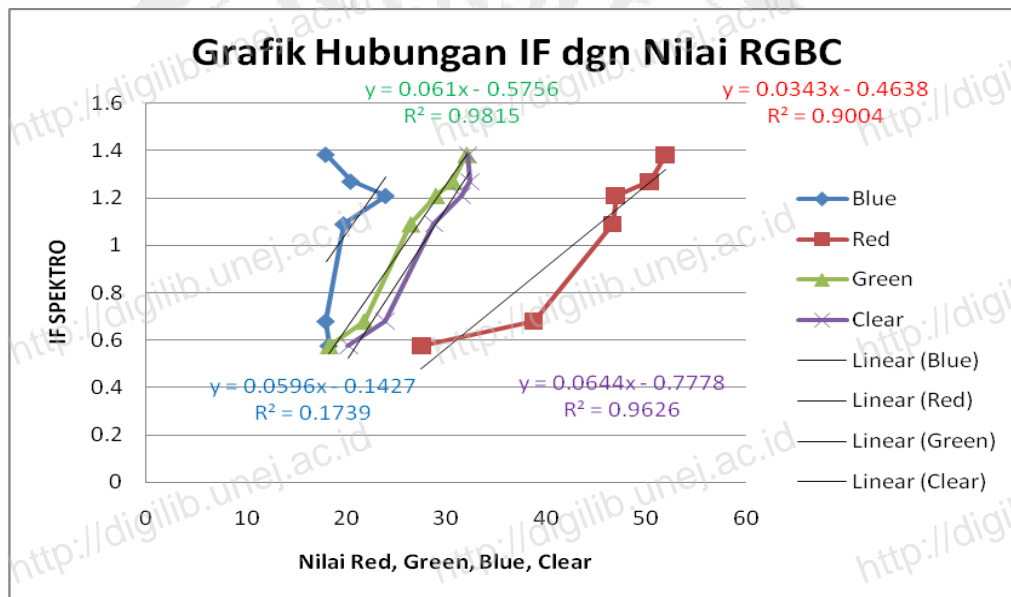
Tabel 4.16 Indeks Fermentasi Alat dengan Indeks Fermentasi Spektrofotometer menggunakan regresi *linear*

FERMENTASI	R	G	B	C	INDEKS FERMENTASI
0 HARI	0.47945	0.5407	0.94798	0.52308	0,5624
					0,5760
					0,5890
RATA-RATA					0.5758
1 HARI	0.86704	0.7542	0.9301	0.76136	0,7409
					0,6611
					0,6376
RATA-RATA					0.6798667
2 HARI	1.13801	1.0409	1.03738	1.07692	1.0914
					1.0881
					1.0908
RATA-RATA					1.0901
3 HARI	1.1483	1.1934	1.2877	1.2508	1.194
					1.2054
					1.2311
RATA-RATA					1.2101667
4 HARI	1.2649	1.2971	1.0791	1.30876	1.2506
					1.2748
					1.2864
RATA-RATA					1.2706
5 HARI	1.3198	1.3825	0.9301	1.29588	1.3966
					1.3901
					1.3660
RATA-RATA					1.3842

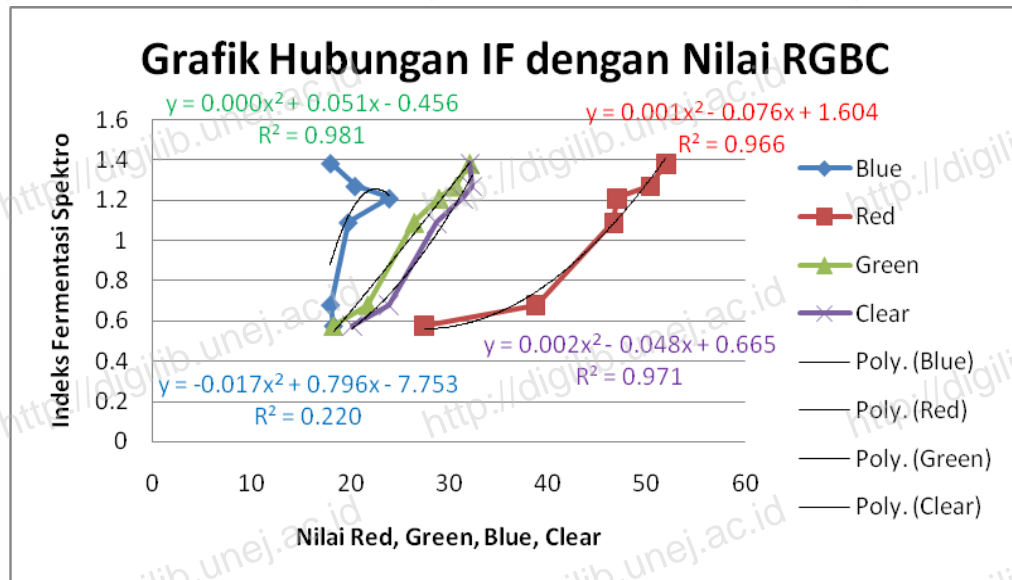
Tabel 4.17 Indeks Fermentasi Alat dengan Indeks Fermentasi Spektrofotometer menggunakan regresi *polynomial*

FERMENTASI	R	G	B	C	INDEKS FERMENTASI
0 HARI	0.5645	0.5107	1.1206	1.12067	0,5624
					0,5760
					0,5890
RATA-RATA					0.5758
1 HARI	0.7511	0.7033	1.067	1.067	0,7409
					0,6611
					0,6376
RATA-RATA					0.6798667
2 HARI	1.0940	0.9657	1.343	1.34312	1,0914
					1,0881
					1,0908
RATA-RATA					1.0901
3 HARI	1.1105	1.1071	1.559	1.559	1,194
					1,2054
					1,2311
RATA-RATA					1.2101667
4 HARI	1.314	1.203949	1.42075	1.42075	1,2506
					1,2748
					1,2864
RATA-RATA					1.2706
5 HARI	1.4222	1.284141	1.067	1.067	1,3966
					1,3901
					1,3660
RATA-RATA					1.3842

Dari tabel di atas tampak nilai dari indeks fermentasi *Red*, *Green*, *Blue*, *Clear* dari biji kakao *unfermented* sampai fermentasi 5 hari. Perlu diketahui bahwa warna biji kakao *unfermented* dan fermentasi 1 hari adalah ungu, sedangkan untuk fermentasi 2 hari sampai 5 hari cenderung berwarna coklat. Untuk Komposisi nilai RGB warna ungu adalah 128 0 128 sedangkan untuk warna coklat adalah 165 42 42. Dari tabel diatas nilai indeks fermentasi pemfilter warna *green* dengan regresi linear lah yang memiliki korelasi dengan indeks fermentasi spektrofotometer karena memiliki error persen tertinggi 10.90%. Sehingga persamaan pemfilter warna *green* yang dipakai untuk menentukan indeks fermentasi biji kakao.



Gambar 4.16 Grafik Regresi *Linear* Hubungan *Red*, *Green*, *Blue* & *Clear* dengan IF Spektro



Gambar 4.17 Grafik Regresi *Polynomial* Hubungan *Red, Green, Blue & Clear* dengan IF Spektro

Dari grafik di atas tampak bahwa nilai korelasi pemfilter warna *green* dengan regresi *linear* yang lebih baik dari pemfilter warna lain. Nilai korelasinya (R^2) sebesar 0.9815 yang mendekati nilai korelasi dari indeks fermentasi spektrofotometer sebesar $R^2 = 1$. Sehingga persamaan pemfilter warna *green* yakni $y = 0.061x - 0.5756$ yang dipakai ke dalam program untuk menentukan nilai indeks fermentasi biji kakao.

Pada regresi *polynomial*, nilai korelasi (R^2) paling bagus sebesar 0.981 yang dimiliki oleh pemfilter *green*. Nilai ini hampir sama dengan nilai korelasi pemfilter *green* pada regresi *linear* $R^2 = 0.9815$, hanya beda satu digit di belakang koma. Oleh karena itu, persamaan yang dipakai pada program adalah pemfilter *green* regresi *linear*.

Berikut ini gambar pembacaan indeks fermentasi biji kakao pada alat mulai dari fermentasi 0 hari sampai 5 hari.



Gambar 4.18

Gambar tampilan indeks fermentasi pada alat

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembuatan, pengujian perangkat dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem minimum mikrokontroller ATMEGA 16 bekerja dengan baik sehingga perangkat pendukung lainnya bekerja optimal.
2. Sampel biji kakao akan terkontaminasi udara jika berada di udara bebas selama 75 detik / 1 menit 15 detik.
3. Penempatan posisi sensor 2 cm (*lampiran C*) dari obyek akan menghasilkan nilai RGBC yang baik.
4. Biji kakao akan terfermentasi sempurna jika sudah mencapai 120 jam (5 hari).
5. Persamaan pemfilter warna hijau (*green*) dengan regresi linear yang digunakan untuk menentukan nilai indeks fermentasi biji kakao yaitu $y = 0.061x - 0.5756$.
6. Error persen alat dalam membaca nilai indeks fermentasi biji kakao paling besar 10.90 % dan paling kecil 0.12%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang “ *Penentu Tingkat Fermentasi Biji Kakao Menggunakan Sensor Warna dengan Mikrokontroller ATMEGA 16*”, penulis memberikan saran berikut dengan harapan untuk penyempurnaan karya ilmiah ini dan lebih memberikan manfaat yang lebih baik di masa mendatang;

1. Biji kakao yang digunakan sebaiknya biji yang kering karena lebih tahan lama perubahan warnanya jika terpengaruh udara.
2. Antarmuka yang digunakan untuk menampilkan data nilai Red, Green, Blue, Clear serta indeks fermentasi menggunakan software semisal *Visual Basic*.
3. Pengujian biji kakao diganti dengan infrared sehingga biji kakao tidak perlu dibelah atau ditumbuk sehingga lebih efisien.

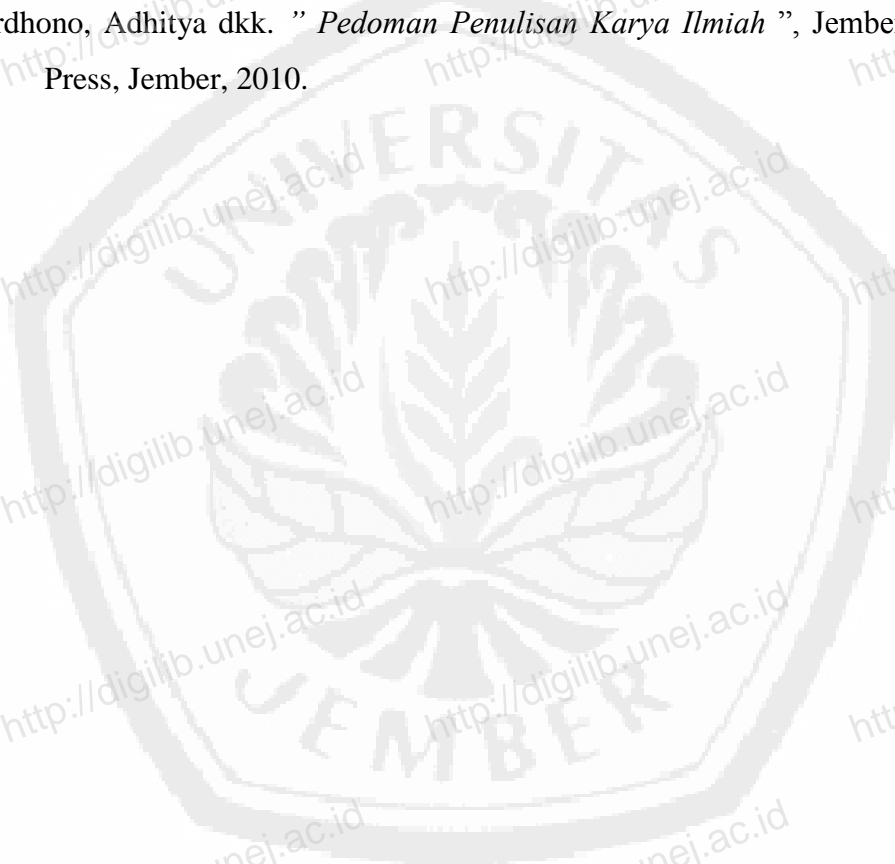
DAFTAR PUSTAKA

Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia

Heryanto, M. Ary & Ir. Wisnu Adi P. ” *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA 8535* ”, ANDI, Yogyakarta, 2008.

Zakaria, Teddy Marcus & Agus Prijono. ” *Perancangan Antarmuka untuk Interaksi Manusia dan Komputer* ”, Informatika, Bandung, 2007.

Wardhono, Adhitya dkk. ” *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah* ”, Jember University Press, Jember, 2010.





LAMPIRAN

Lampiran A. Listing Program Penentu Indeks Fermentasi Biji Kakao

```

*****
This program was produced by the
CodeWizardAVR V2.03.4 Standard
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2008 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.com

```

```

Project : Penentu Tingkat Fermentasi Biji Kakao
            Menggunakan Sensor Warna TCS230-DB
Version : © Copyright 2008
Date : 2/10/2011
Author : Abdaul Hidayatir R.
Company : Universitas Jember, Teknik Elektronika
Comments : Tugas Akhir

```

```

*****/
Chip type : ATmega16
Program type : Application
Clock frequency : 12.000000 MHz
Memory model : Small
External RAM size : 0
Data Stack size : 128
S0 dan S1 5 volt
S2=0 ; S3=0 -> filter merah
S2=0 ; S3=1 -> filter biru
S2=1 ; S3=0 -> filter clear
S2=1 ; S3=1 -> filter hijau
*****/

#include <mega8535.h>
// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
.equ __lcd_port=0x1B ;PORTA
#endasm
#include <lcd.h>
#include <stdio.h>
#include <delay.h>
#define redref (19456/255)
#define greenref (19862/255)
#define bluref (25000/255)
#define clearref (63699/255)

#define LED PORTC.5
#define S0 PORTC.4
#define S1 PORTC.3
#define S2 PORTC.2
#define S3 PORTC.1

// Standard Input/Output functions
#include <stdio.h>

```

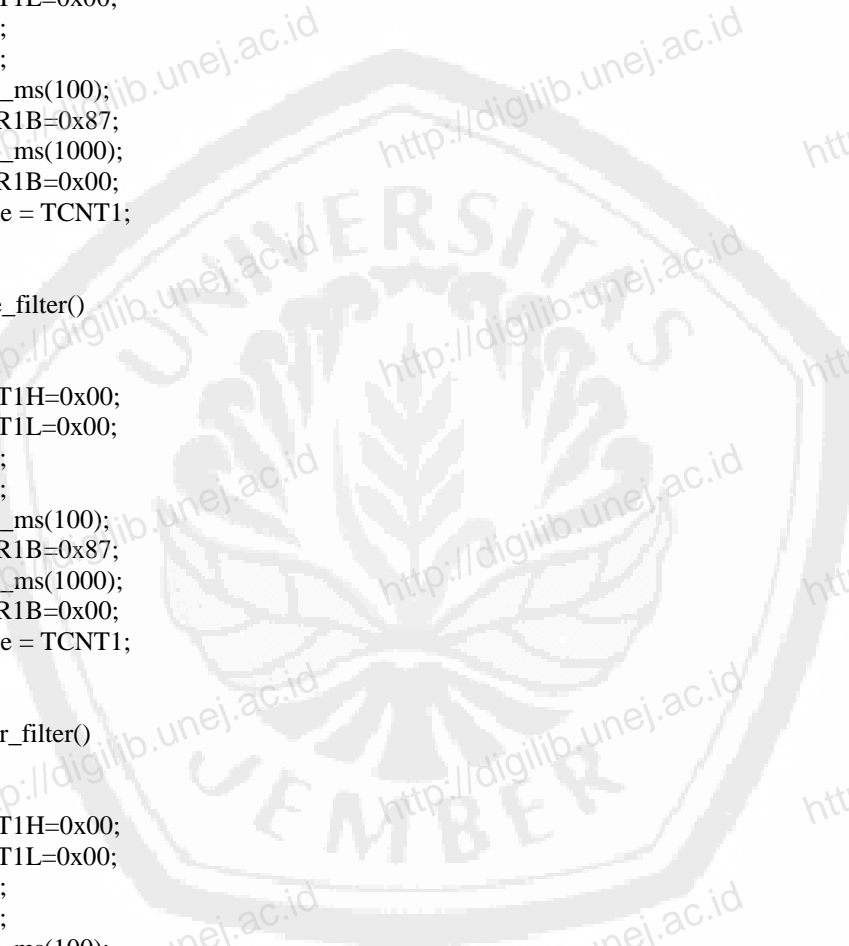
```
// Declare your global variables here
unsigned char lcd_buffer[33];
unsigned long datane;
unsigned int red[10], green[10], blue[10], clear[10];
```

```
void red_filter()
{
    TCNT1H=0x00;
    TCNT1L=0x00;
    S2=0;
    S3=0;
    delay_ms(100);
    TCCR1B=0x87;
    delay_ms(1000);
    TCCR1B=0x00;
    datane = TCNT1;
}
```

```
void blue_filter()
{
    TCNT1H=0x00;
    TCNT1L=0x00;
    S2=0;
    S3=1;
    delay_ms(100);
    TCCR1B=0x87;
    delay_ms(1000);
    TCCR1B=0x00;
    datane = TCNT1;
}
```

```
void clear_filter()
{
    TCNT1H=0x00;
    TCNT1L=0x00;
    S2=1;
    S3=0;
    delay_ms(100);
    TCCR1B=0x87;
    delay_ms(1000);
    TCCR1B=0x00;
    datane = TCNT1;
}
```

```
void green_filter()
{
    TCNT1H=0x00;
    TCNT1L=0x00;
```



```

S2=1;
S3=1;
delay_ms(100);
TCCR1B=0x87;
delay_ms(1000);
TCCR1B=0x00;
datane = TCNT1;
}

```

```

void main(void)
{
// Declare your local variables here
unsigned char i;
unsigned int total[4];
float nil_rata2[4],indeks_fermentasi;

// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;
// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTB=0x02;
DDRB=0x00;

// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0xFF;

// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;
// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped

```

```
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 2 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;
// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;

// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: On
// USART Transmitter: On
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud Rate: 9600
UCSRA=0x00;
UCSRB=0x18;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x4D;
// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
```

```

// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;
// LCD module initialization
lcd_init(16);
lcd_gotoxy(0,0); // menampilkan di kolom 0, baris 0
lcd_putsf("LOADING");//menampilkan string
lcd_gotoxy(8,0);
lcd_putsf(".");
delay_ms(500);
lcd_gotoxy(9,0);
lcd_putsf(".");
delay_ms(500);
lcd_gotoxy(10,0);
lcd_putsf(".");
delay_ms(500);
lcd_gotoxy(11,0);
lcd_putsf(".");
delay_ms(500);

lcd_gotoxy(12,0);
lcd_putsf(".");
delay_ms(500);
lcd_gotoxy(13,0);
lcd_putsf(".");
delay_ms(500);
lcd_gotoxy(14,0);
lcd_putsf(".");
delay_ms(500);
lcd_gotoxy(15,0);
lcd_putsf(".");
delay_ms(500);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("MENAMPILKAN RGBC");
delay_ms(1500);
while (1)
{
//***** Bismillahirrahmanirrahim*****

for(i=0;i<4;i++) total[i]=0;
for(i=0;i<10;i++){
//***** baca red *****
LED=1;S0=1;S1=1;
red_filter();
LED=0;S0=0;S1=0;
printf("Red : %5u ",datane);

lcd_gotoxy(0,0);
sprintf(lcd_buffer,"Freq R : %5u ",datane);
lcd_puts(lcd_buffer);

```

```
red[i]=(datane/redref);
if(red[i]>=255) red[i]=255;
lcd_gotoxy(0,1);
sprintf(lcd_buffer,"Red : %5d  ",red[i]);
lcd_puts(lcd_buffer);
delay_ms(1000);
lcd_clear();

//***** baca green *****
LED=1;S0=1;S1=1;
green_filter();
LED=0;S0=0;S1=0;
printf("Green : %5u ",datane);

lcd_gotoxy(0,0);
sprintf(lcd_buffer,"Freq G : %5u",datane);
lcd_puts(lcd_buffer);

green[i]=(datane/greenref);
if(green[i]>=255) green[i]=255;
lcd_gotoxy(0,1);
sprintf(lcd_buffer,"Green : %5d",green[i]);
lcd_puts(lcd_buffer);
delay_ms(1000);
lcd_clear();

//***** baca blue *****
LED=1;S0=1;S1=1;
blue_filter();
LED=0;S0=0;S1=0;
printf("Blue : %5u ",datane);

lcd_gotoxy(0,0);
sprintf(lcd_buffer,"Freq B : %5u",datane);
lcd_puts(lcd_buffer);

blue[i]=(datane/bluref);
if(blue[i]>=255) blue[i]=255;
lcd_gotoxy(0,1);
sprintf(lcd_buffer,"Blue : %5d",blue[i]);
lcd_puts(lcd_buffer);
delay_ms(1000);
lcd_clear();

//***** baca clear *****
LED=1;S0=1;S1=1;
clear_filter();
LED=0;S0=0;S1=0;
printf("Clear : %5u ",datane);
```



```
lcd_gotoxy(0,0);
sprintf(lcd_buffer, "Freq C : %5u", datane);
lcd_puts(lcd_buffer);
clear[i]=(datane/clearref);
if(clear[i]>=255) clear[i]=255;
lcd_gotoxy(0,1);
sprintf(lcd_buffer, "Clear : %5d", clear[i]);
lcd_puts(lcd_buffer);
delay_ms(1000);
lcd_clear();

//total pembacaan sensor
total[0]=total[0]+red[i]; //total merah
total[1]=total[1]+green[i]; //total merah
total[2]=total[2]+blue[i]; //total merah
total[3]=total[3]+clear[i]; //total merah
}
for(i=0;i<4;i++){
  nil_rata2[i]=(float)total[i]/10;
}
//nil_rata2[0] : rata2 pembacaan sensor red
//nil_rata2[1] : rata2 pembacaan sensor green
//nil_rata2[2] : rata2 pembacaan sensor blue
//nil_rata2[3] : rata2 pembacaan sensor clear

indeks_fermentasi = 0.061*nil_rata2[1]-0.5756 ;
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("Indek Fermentasi");
lcd_gotoxy(0,1);
sprintf(lcd_buffer, "%4f", indeks_fermentasi);
lcd_puts(lcd_buffer);
delay_ms(7000);
lcd_clear();
};
}
```

Lampiran B. Hasil Pengujian Pembacaan Nilai *Red, Green, Blue, Clear*

• **Percobaan 1**

Biji kakao fermentasi 0 hari

No.	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	45	30	23	13
2	44	29	21	13
3	43	27	20	13
4	42	26	19	12
5	41	25	19	12
6	40	25	18	12
7	40	24	18	12
8	39	39	17	12
9	38	23	17	12
10	38	22	16	11
11	37	22	16	11
12	37	22	16	11
13	37	22	16	11
14	36	21	16	22
15	36	21	16	11
16	36	21	15	164
17	72	21	16	21
18	71	21	15	21
19	71	21	15	21
20	70	21	15	21
21	70	21	15	21
22	70	21	15	21
23	69	20	15	21
24	69	20	15	21
25	69	20	15	21
26	68	20	15	21
27	68	20	15	20

Biji kakao fermentasi 1 hari

No.	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	45	30	23	13
2	44	29	21	13
3	43	27	20	13
4	42	26	19	12
5	41	25	19	12
6	40	25	18	12
7	40	24	18	12
8	39	39	17	12
9	38	23	17	12
10	38	22	16	11
11	37	22	16	11
12	37	22	16	11
13	37	22	16	11
14	36	21	16	22
15	36	21	16	11
16	36	21	15	164
17	72	21	16	21
18	71	21	15	21
19	71	21	15	21
20	70	21	15	21
21	70	21	15	21
22	70	21	15	21
23	69	20	15	21
24	69	20	15	21
25	69	20	15	21
26	68	20	15	21
27	68	20	15	20
28	68	20	15	20
29	68	20	15	20
30	68	20	15	20

Biji kakao fermentasi 2 hari

No.	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	27	25	19	43
2	24	24	18	20
3	23	22	16	7
4	23	22	16	7
5	23	22	16	7
6	23	23	16	30
7	23	22	16	7
8	23	22	16	7
9	23	22	16	7
10	23	22	16	6
11	22	22	16	6
12	22	22	16	6
13	22	22	16	6
14	22	22	16	6
15	22	22	16	6
16	22	21	16	6
17	32	21	16	34
18	22	21	15	6
19	21	21	15	22
20	79	21	15	41
21	21	21	15	16
22	21	21	15	6
23	21	21	15	8
24	21	21	15	34
25	21	21	15	6
26	21	20	15	17
27	21	20	18	6
28	21	18	13	16
29	29	18	13	34
30	90	18	13	5

Biji kakao fermentasi 3 hari

No.	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	57	46	34	17
2	55	45	33	16
3	54	43	32	16
4	53	42	31	16
5	53	41	30	16
6	52	40	29	15
7	51	39	28	15
8	51	38	28	15
9	50	37	27	15
10	50	36	27	15
11	49	35	26	15
12	49	35	26	15
13	49	34	25	14
14	48	33	25	14
15	48	33	24	34
16	113	32	24	34
17	112	32	23	34
18	111	32	23	33
19	110	31	23	33
20	108	31	23	33
21	108	31	22	32
22	107	31	22	32
23	106	30	22	32
24	105	30	22	32
25	104	30	22	31
26	103	30	22	31
27	103	29	21	31
28	102	29	21	31
29	101	29	21	30
30	100	28	21	30

Biji kakao fermentasi 4 hari

No.	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	51	36	27	15
2	50	36	26	15
3	49	35	26	15
4	49	35	25	15
5	48	34	25	14
6	48	34	25	14
7	48	33	24	14
8	47	33	24	14
9	47	33	24	14
10	47	32	24	14
11	47	32	24	14
12	47	32	23	14
13	46	32	23	14
14	46	32	23	14
15	46	31	23	14
16	46	31	23	14
17	46	29	21	31
18	102	29	21	31
19	101	29	21	30
20	101	29	21	30
21	100	29	21	30
22	100	29	21	30
23	99	29	21	30
24	99	28	21	30
25	99	28	21	30
26	98	28	21	30
27	97	28	20	29
28	97	28	20	29
29	97	28	20	29
30	97	28	20	29

Biji kakao fermentasi 5 hari

No.	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	85	51	39	27
2	87	48	36	26
3	85	46	34	26
4	84	44	33	25
5	83	42	31	25
6	82	40	30	24
7	81	39	29	24
8	80	38	28	24
9	79	37	27	24
10	78	36	26	23
11	78	35	26	23
12	77	34	25	23
13	76	33	24	23
14	76	32	24	23
15	75	32	23	22
16	75	31	23	22
17	74	31	22	22
18	73	30	22	22
19	73	29	22	22
20	72	29	21	22
21	72	29	21	21
22	71	28	21	21
23	71	27	20	21
24	70	27	20	21
25	69	26	19	21
26	69	26	19	21
27	68	26	19	20
28	67	25	18	20
29	171	33	24	34
30	112	33	24	34

- **Percobaan 2**

Biji kakao fermentasi 0 hari

No	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	46	26	20	13
2	44	24	18	13
3	43	23	17	13
4	42	22	16	12
5	41	21	16	12
6	41	20	15	12
7	40	20	15	12
8	39	20	14	12
9	39	19	14	11
10	39	19	14	11
11	38	19	14	11
12	38	18	13	11
13	37	18	13	11
14	37	18	13	11
15	37	18	13	11
16	36	18	13	19
17	65	18	13	19
18	64	18	13	19
19	64	18	13	19
20	63	17	13	19
21	63	17	13	19
22	63	17	13	19
23	62	17	12	19
24	62	17	12	18
25	61	17	12	18
26	61	17	12	18
27	61	17	12	18

Biji kakao fermentasi 1 hari

No	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	32	24	18	9
2	31	22	16	9
3	31	21	15	9
4	30	20	15	9
5	30	19	14	9
6	29	18	14	9
7	29	18	13	8
8	29	18	13	8
9	29	17	13	8
10	29	17	13	8
11	28	17	12	8
12	28	17	12	8
13	28	17	12	8
14	28	16	12	8
15	28	16	12	8
16	28	16	12	8
17	28	16	12	8
18	28	16	12	8
19	28	16	11	8
20	28	16	11	8
21	28	16	11	8
22	27	16	11	8
23	27	16	11	8
24	27	16	11	8
25	27	15	11	8
26	27	15	11	8
27	27	15	11	8
28	27	15	11	8
29	27	15	11	8
30	27	15	11	8

Biji kakao fermentasi 2 hari

No	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	49	29	21	15
2	48	26	20	14
3	47	25	18	14
4	46	23	17	14
5	46	22	16	13
6	45	21	16	13
7	44	20	15	13
8	43	19	14	13
9	43	19	14	13
10	42	18	14	12
11	41	18	13	12
12	41	18	13	12
13	40	18	13	12
14	40	18	13	12
15	39	17	13	12
16	39	17	13	11
17	38	17	12	11
18	38	17	12	11
19	37	17	12	21
20	68	17	12	20
21	68	17	12	20
22	67	16	12	20
23	67	16	12	20
24	66	16	12	20
25	66	16	12	20
26	65	16	12	19
27	65	16	12	19
28	64	16	11	19
29	64	16	11	19
30	63	15	11	19

Biji kakao fermentasi 3 hari

No	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	62	35	26	18
2	61	33	25	18
3	60	31	23	18
4	59	30	22	18
5	59	29	21	17
6	58	28	21	17
7	57	27	20	17
8	57	26	19	17
9	56	26	19	17
10	56	25	18	17
11	55	24	18	16
12	55	24	18	16
13	54	23	17	16
14	54	255	17	16
15	89	27	20	27
16	88	27	20	26
17	87	27	20	26
18	86	26	19	26
19	85	26	19	26
20	85	26	19	25
21	84	26	19	25
22	83	25	19	25
23	82	25	18	25
24	81	25	18	25
25	81	25	18	24
26	81	25	18	24
27	80	24	18	24
28	79	24	18	24
29	79	24	18	24
30	78	24	17	24

Biji kakao fermentasi 4 hari

No	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	44	25	19	13
2	43	24	18	13
3	42	23	17	12
4	42	23	17	12
5	41	22	16	12
6	40	22	16	12
7	40	21	16	12
8	39	21	15	11
9	39	20	15	11
10	38	20	15	11
11	38	20	15	11
12	38	20	14	11
13	37	20	14	11
14	37	19	14	11
15	37	19	14	11
16	37	19	14	11
17	36	18	44	21
18	69	18	13	21
19	68	18	13	20
20	68	18	13	20
21	67	18	13	20
22	67	18	13	20
23	67	18	13	20
24	67	17	13	20
25	66	17	13	20
26	66	17	13	20
27	66	17	13	20
28	66	17	12	20
29	65	17	12	20
30	65	17	12	19

Biji kakao fermentasi 5 hari

No	RED	GREEN	BLUE	CLEAR
1	51	27	20	15
2	50	27	20	15
3	49	26	19	15
4	49	25	19	15
5	48	25	18	14
6	48	24	18	14
7	47	24	17	14
8	47	23	17	14
9	47	23	17	14
10	46	23	17	14
11	46	22	16	14
12	46	22	16	14
13	45	22	16	14
14	45	21	16	13
15	45	21	15	13
16	44	21	15	13
17	44	21	15	13
18	44	20	15	13
19	43	20	15	13
20	43	20	15	13
21	43	20	14	13
22	43	20	14	13
23	43	19	14	13
24	42	19	14	13
25	42	19	14	13
26	42	19	14	12
27	42	19	14	12
28	42	23	14	231
29	85	23	17	26
30	85	23	16	25

Lampiran C. Jarak Optimal Pengujian Sensor Warna TCS230-DB

Berdasarkan kesimpulan, disebutkan bahwa penempatan posisi sensor 2 cm dari obyek akan menghasilkan nilai *Red*, *Green*, *Blue*, *Clear* yang baik. Ini dibuktikan dengan tabel pengujian seperti di bawah ini :

Posisi Sensor 2 cm dari obyek

No.	Warna	Nilai RGB Refrensi			Nilai RGB Sensor		
		R	G	B	R	G	B
1	Putih	255	255	255	255	255	255
2	Hitam	0	0	0	0	0	0
3	Merah	255	0	0	145	23	24
4	Hijau	0	255	0	18	184	17
5	Biru	0	0	255	21	62	107
6	Kuning	255	255	0	224	176	106
7	Oranye	255	165	0	197	64	39
8	Coklat	165	42	42	119	41	21
9	Ungu	128	0	128	128	45	98
10	Pink	255	192	203	243	188	187

Berdasarkan tabel di atas tampak bahwa nilai RGB sensor mendekati atau bahkan sama dengan nilai RGB refrensinya. Ini menunjukkan indikasi bahwa jarak 2 cm merupakan jarak optimal dari sensor warna TCS230-DB untuk mendapatkan nilai RGB yang baik.

Posisi Sensor 2,5 cm dari obyek

No.	Warna	Nilai RGB Refrensi			Nilai RGB Sensor		
		R	G	B	R	G	B
1	Putih	255	255	255	250	250	250
2	Hitam	0	0	0	1	1	1
3	Merah	255	0	0	118	12	9
4	Hijau	0	255	0	8	120	13
5	Biru	0	0	255	12	25	98
6	Kuning	255	255	0	178	102	85
7	Oranye	255	165	0	124	23	25
8	Coklat	165	42	42	88	25	20
9	Ungu	128	0	128	110	24	90
10	Pink	255	192	203	220	102	126

Berdasarkan tabel di atas tampak bahwa nilai RGB sensor jauh dengan nilai RGB refrensinya. Ini menunjukkan indikasi bahwa jarak 2,5 cm bukan merupakan jarak optimal dari sensor warna TCS230-DB untuk mendapatkan nilai RGB yang baik.

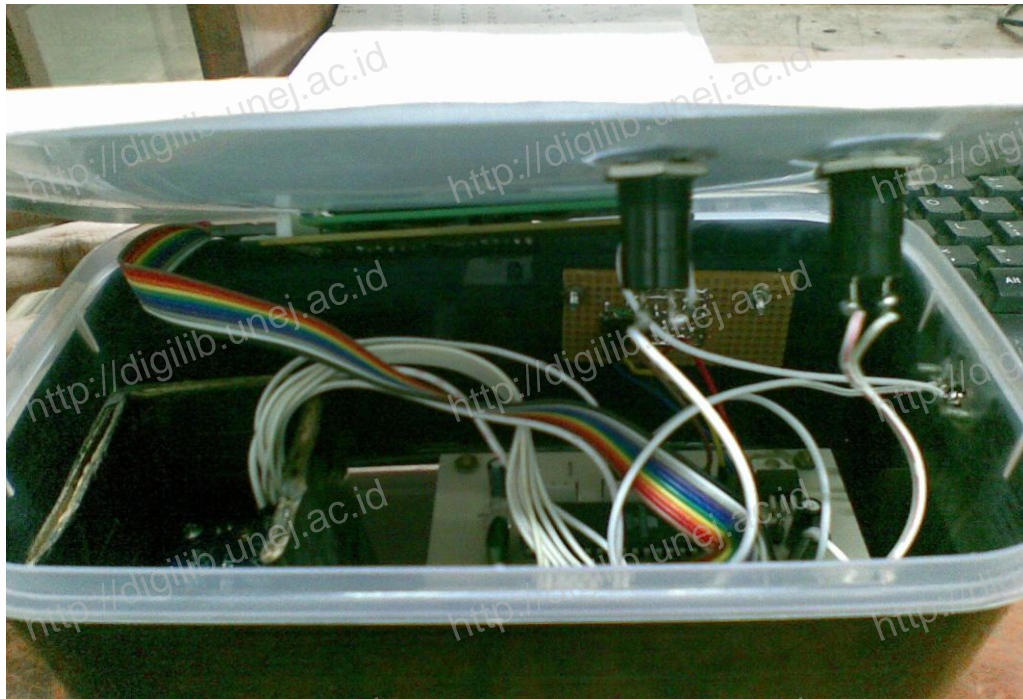
Posisi Sensor 1,5 cm dari obyek

No.	Warna	Nilai RGB Refrensi			Nilai RGB Sensor		
		R	G	B	R	G	B
1	Putih	255	255	255	100	110	110
2	Hitam	0	0	0	0	0	0
3	Merah	255	0	0	45	3	3
4	Hijau	0	255	0	8	30	8
5	Biru	0	0	255	8	8	33
6	Kuning	255	255	0	60	27	10
7	Oranye	255	165	0	47	12	23
8	Coklat	165	42	42	34	11	11
9	Ungu	128	0	128	53	0	48
10	Pink	255	192	203	123	56	37

Berdasarkan tabel di atas tampak bahwa nilai RG sensor sangat jauh dengan nilai RGB refrensinya. Ini menunjukkan indikasi bahwa jarak 1,5 cm bukanlah jarak optimal dari sensor warna TCS230-DB untuk mendapatkan nilai RGB yang baik.

Lampiran D. Foto Alat Penentu Indeks Fermentasi Biji Kakao

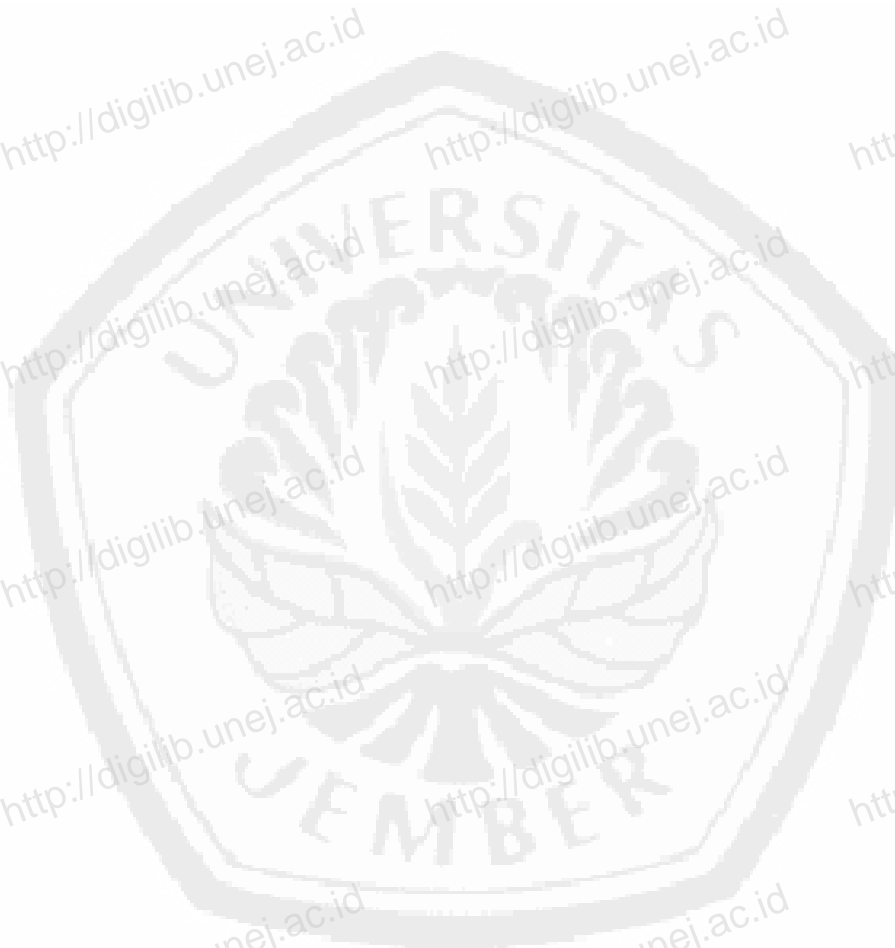




Lampiran E. Perubahan Warna Biji Kakao dari Fermentasi 0 Hari – 5 Hari**Fermentasi 0 Hari - 2 Hari****Fermentasi 3 Hari****Fermentasi 4 Hari - 5 Hari****Fermentasi 0 – 2 Hari****Fermentasi 3Hari****Fermentasi 4 – 5 Hari**

Lampiran F

1. ***Datasheet Mikrokontroler ATMEGA 16***
2. ***Datasheet Color Sensor TCS230-DB***



Features

- High-performance, Low-power Atmel[®] AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory segments
 - 16 Kbytes of In-System Self-programmable Flash program memory
 - 512 Bytes EEPROM
 - 1 Kbyte Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7V - 5.5V for ATmega16L
 - 4.5V - 5.5V for ATmega16
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz for ATmega16L
 - 0 - 16 MHz for ATmega16
- Power Consumption @ 1 MHz, 3V, and 25°C for ATmega16L
 - Active: 1.1 mA
 - Idle Mode: 0.35 mA
 - Power-down Mode: < 1 μ A



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 16K Bytes
In-System
Programmable
Flash

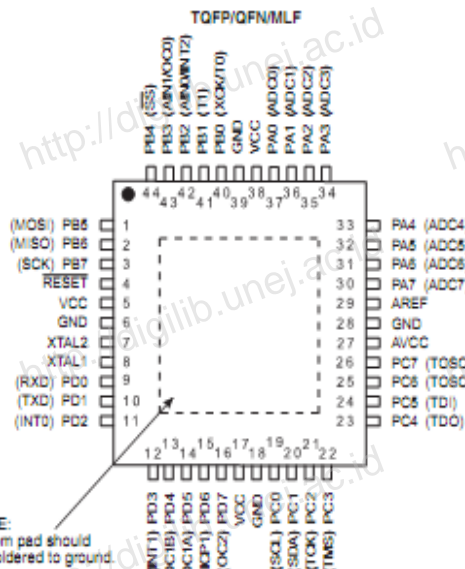
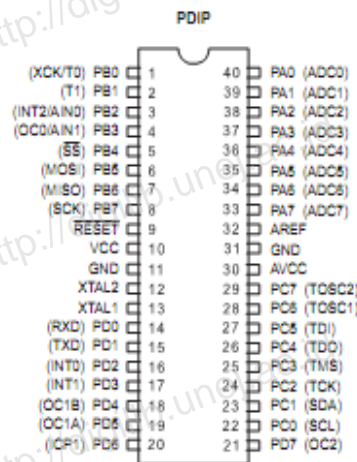
ATmega16
ATmega16L

Rev. 2465T-AVR-07/10



ATmega16(L)

Pin Configurations Figure 1. Pinout ATmega16



Disclaimer

Typical values contained in this datasheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.



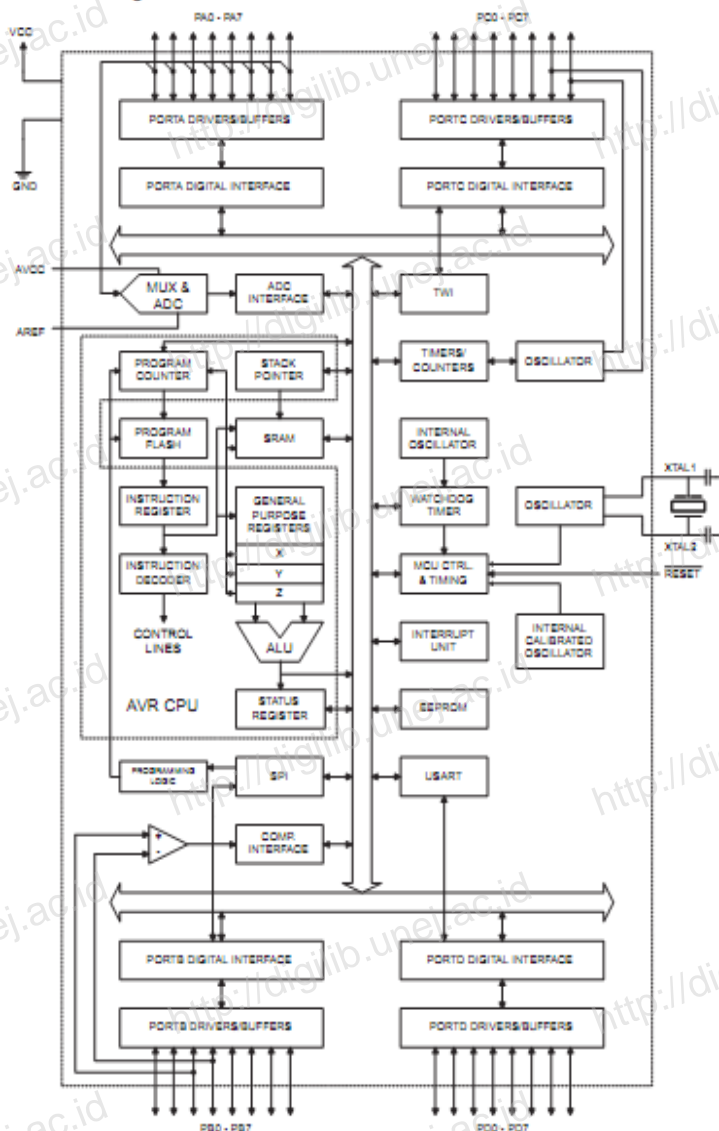
ATmega16(L)

Overview

The ATmega16 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega16 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

Block Diagram

Figure 2. Block Diagram



ATmega16(L)

The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega16 provides the following features: 16 Kbytes of In-System Programmable Flash Program memory with Read-While-Write capabilities, 512 bytes EEPROM, 1 Kbyte SRAM, 32 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, a JTAG interface for Boundary-scan, On-chip Debugging support and programming, three flexible Timer/Counters with compare modes, Internal and External Interrupts, a serial programmable USART, a byte oriented Two-wire Serial Interface, an 8-channel, 10-bit ADC with optional differential input stage with programmable gain (TQFP package only), a programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the USART, Two-wire interface, A/D Converter, SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next External Interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the Asynchronous Timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except Asynchronous Timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption. In Extended Standby mode, both the main Oscillator and the Asynchronous Timer continue to run.

The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega16 is a powerful microcontroller that provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The ATmega16 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, in-circuit emulators, and evaluation kits.

Pin Descriptions

VCC	Digital supply voltage.
GND	Ground.
Port A (PA7..PA0)	Port A serves as the analog inputs to the A/D Converter. Port A also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.



ATmega16(L)

Port B (PB7..PB0)	<p>Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Port B also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on page 58.</p>
Port C (PC7..PC0)	<p>Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. If the JTAG interface is enabled, the pull-up resistors on pins PC5(TDI), PC3(TMS) and PC2(TCK) will be activated even if a reset occurs.</p> <p>Port C also serves the functions of the JTAG interface and other special features of the ATmega16 as listed on page 61.</p>
Port D (PD7..PD0)	<p>Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Port D also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on page 63.</p>
RESET	<p>Reset Input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 15 on page 38. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.</p>
XTAL1	<p>Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.</p>
XTAL2	<p>Output from the inverting Oscillator amplifier.</p>
AVCC	<p>AVCC is the supply voltage pin for Port A and the A/D Converter. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter.</p>
AREF	<p>AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.</p>



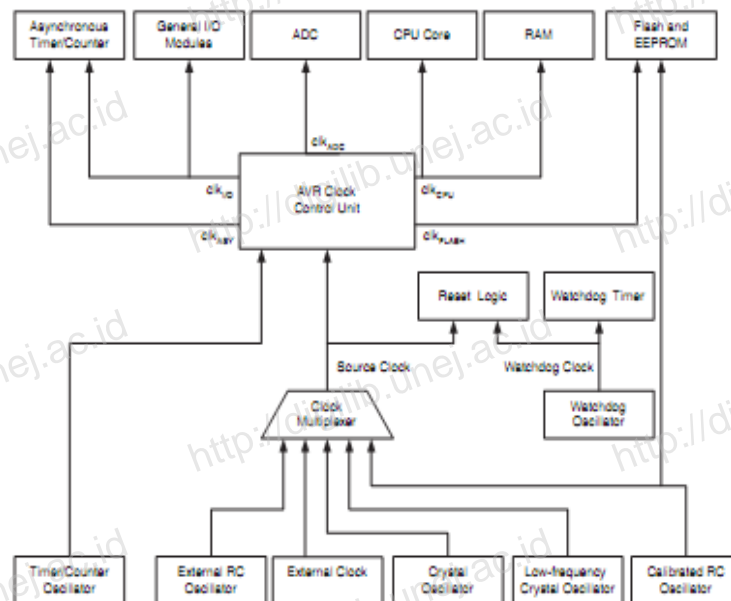
ATmega16(L)

System Clock and Clock Options

Clock Systems and their Distribution

Figure 11 presents the principal clock systems in the AVR and their distribution. All of the clocks need not be active at a given time. In order to reduce power consumption, the clocks to modules not being used can be halted by using different sleep modes, as described in "Power Management and Sleep Modes" on page 32. The clock systems are detailed Figure 11.

Figure 11. Clock Distribution



CPU Clock – clk_{CPU}

The CPU clock is routed to parts of the system concerned with operation of the AVR core. Examples of such modules are the General Purpose Register File, the Status Register and the data memory holding the Stack Pointer. Halting the CPU clock inhibits the core from performing general operations and calculations.

I/O Clock – clk_{IO}

The I/O clock is used by the majority of the I/O modules, like Timer/Counters, SPI, and USART. The I/O clock is also used by the External Interrupt module, but note that some external interrupts are detected by asynchronous logic, allowing such interrupts to be detected even if the I/O clock is halted. Also note that address recognition in the TWI module is carried out asynchronously when clk_{IO} is halted, enabling TWI address reception in all sleep modes.

Flash Clock – clk_{FLASH}

The Flash clock controls operation of the Flash interface. The Flash clock is usually active simultaneously with the CPU clock.

Asynchronous Timer Clock – clk_{ASY}

The Asynchronous Timer clock allows the Asynchronous Timer/Counter to be clocked directly from an external 32 kHz clock crystal. The dedicated clock domain allows using this Timer/Counter as a real-time counter even when the device is in sleep mode.

ATmega16(L)

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
8	2.7V - 5.5V	ATmega16L-8AU ⁽¹⁾ ATmega16L-8PU ⁽¹⁾ ATmega16L-8MU ⁽¹⁾	44A 40P6 44M1	Industrial (-40°C to 85°C)
16	4.5V - 5.5V	ATmega16-16AU ⁽¹⁾ ATmega16-16PU ⁽¹⁾ ATmega16-16MU ⁽¹⁾	44A 40P6 44M1	Industrial (-40°C to 85°C)

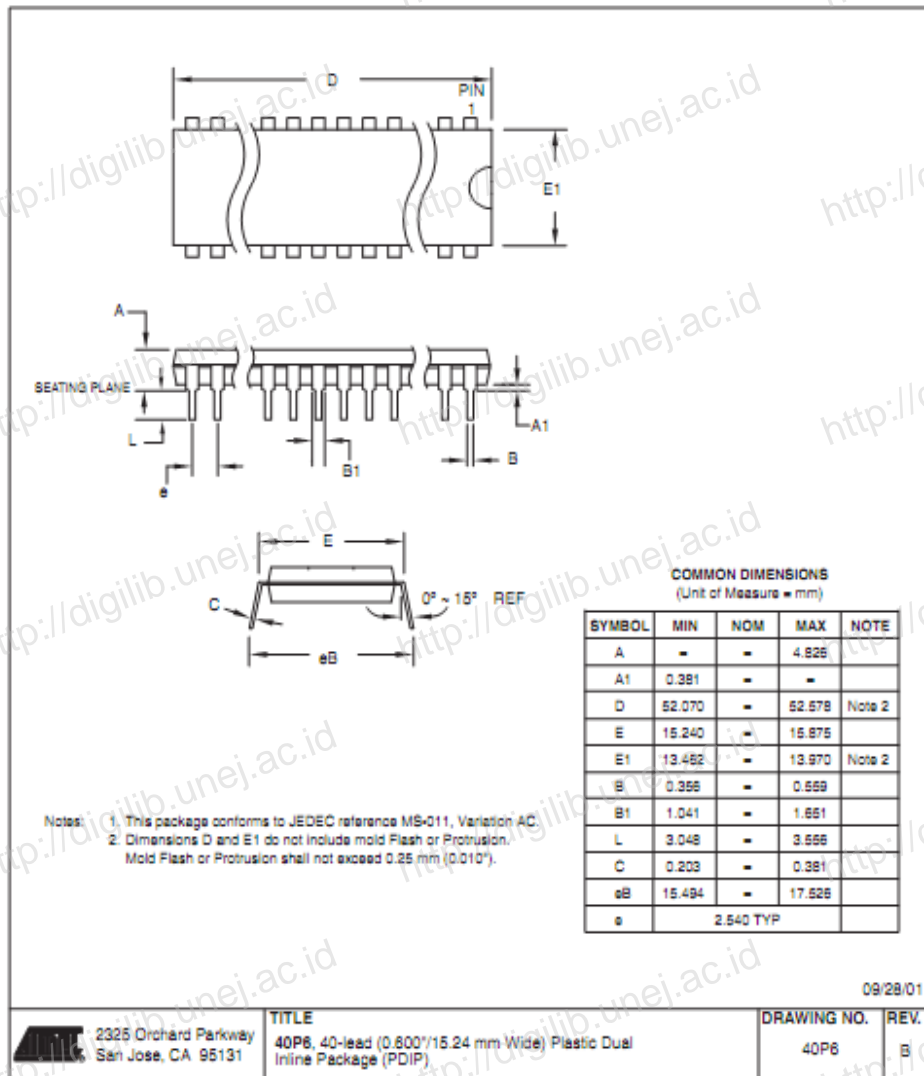
Note: 1. Pb-free packaging complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.

Package Type	
44A	44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
40P6	40-pin, 0.600" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
44M1	44-pad, 7 × 7 × 1.0 mm body, lead pitch 0.50 mm, Quad Flat No-Lead/Micro Lead Frame Package (QFN/MLF)



ATmega16(L)

40P6





Headquarters

Atmel Corporation
 2325 Orchard Parkway
 San Jose, CA 95131
 USA
 Tel: 1(408) 441-0311
 Fax: 1(408) 487-2600

International

Atmel Asia
 Unit 1-5 & 18, 19/F
 BEA Tower, Millennium City 5
 418 Kwun Tong Road
 Kwun Tong, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: (852) 2245-8100
 Fax: (852) 2722-1389

Atmel Europe
 Le Krebs
 8, Rue Jean-Pierre Timbaud
 BP 309
 78054 Saint-Quentin-en-
 Yvelines Cedex
 France
 Tel: (33) 1-30-80-70-00
 Fax: (33) 1-30-80-71-11

Atmel Japan
 9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
 1-24-8 Shinkawa
 Chuo-ku, Tokyo 104-0033
 Japan
 Tel: (81) 3-3523-3551
 Fax: (81) 3-3523-7581

Product Contact

Web Site
www.atmel.com

Technical Support
avr@atmel.com

Sales Contact
www.atmel.com/contacts

Literature Requests
www.atmel.com/literature

Disclaimer: The information in this document is provided in connection with Atmel products. No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property right is granted by this document or in connection with the sale of Atmel products. EXCEPT AS SET FORTH IN ATMEL'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE LOCATED ON ATMEL'S WEB SITE, ATMEL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER AND DISCLAIMS ANY EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY WARRANTY RELATING TO ITS PRODUCTS INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL ATMEL BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, CONSEQUENTIAL, PUNITIVE, SPECIAL OR INCIDENTAL DAMAGES (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES FOR LOSS OF PROFITS, BUSINESS INTERRUPTION, OR LOSS OF INFORMATION) ARISING OUT OF THE USE OR INABILITY TO USE THIS DOCUMENT, EVEN IF ATMEL HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. Atmel makes no representations or warranties with respect to the accuracy or completeness of the contents of this document and reserves the right to make changes to specifications and product descriptions at any time without notice. Atmel does not make any commitment to update the information contained herein. Unless specifically provided otherwise, Atmel products are not suitable for, and shall not be used in, automotive applications. Atmel's products are not intended, authorized, or warranted for use as components in applications intended to support or sustain life.

© 2010 Atmel Corporation. All rights reserved. Atmel®, Atmel logo and combinations thereof, AVR® and others are registered trademarks or trademarks of Atmel Corporation or its subsidiaries. Other terms and product names may be trademarks of others.



TCS230-DB COLOR SENSOR DAUGHTERBOARD KIT

TAOS #TCS230-DB

Parallax #28302

Out of the Box

The TCS230-DB Color Sensor Daughterboard Kit consists of a TCS230-DB daughterboard that includes the TAOS TCS230 color sensor chip, a lens, and two current-regulated white LEDs. Also included are four one-inch aluminum standoffs and four 3/4" screws.

The daughterboard is compatible with all Parallax motherboards, including the MoBoStamp-pe. It can operate with Vdd set anywhere between 2.7V and 5.5V. However, a nominal 5V supply is needed for operation of the LEDs, which the motherboard automatically provides. For operation without a motherboard, such as with Parallax's Board of Education, an extension cable (p/n 800-28301) and a SIP adapter ("DB Expander", p/n 28325) are available separately to convert the TCS230DB's two-row, 2mm header to a more convenient single-row, 0.1-inch spacing.

Getting Started

If you are using the TCS230-DB with the MoBoStamp-pe, make sure that you have the GPIO3 firmware loaded into the AVR coprocessors. The MoBoStamp-pe comes from the factory with the GPIO3 firmware installed. If you have installed other AVR firmware, reload the GPIO3 hex file using the LoadAVR.exe utility before proceeding.

The TCS230-DB works best with the front surface of the printed circuit board located between 1" and 1 1/16" from the subject being sensed. For this reason, aluminum spacers are included, which can be affixed to form legs. If you are using your TCS230-DB with a Parallax motherboard, remove all the screws from the brass spacers at both ends of the board, and replace them with the 3/4" screws included in this kit. The screws should be installed from the bottom of the motherboard and protrude through the brass spacers. At this point, you can install the TCS230-DB on the "B" end of the motherboard and attach the spacers as shown below. The left-over short screws may also be screwed into the ends of the legs as a height adjustment.



If you are connecting the TCS230-DB to the motherboard via the extension cable (p/n 800-28301), attach the spacers directly to the TCS230-DB using the unused short screws provided with the motherboard.

If you are using the TCS230-DB with the DB-Expander instead of a motherboard, you will need to obtain eight 4-40 x 1/4" panhead machines screws (Parallax p/n 700-00028) to attach the legs, since the 3/4" screws provided are too long, and to use as a height adjustment.

Now, assuming you're using the MoBoStamp-pe, key the following BS2pe program into the BASIC Stamp Editor. (A similar program, along with programs for different BASIC Stamp versions is available for download at www.parallax.com.)

```
' ($$STAMP BS2pe)
```

```
Out CON 7
S3 CON 0
S2 CON 1
LED CON 5
```

```
pRED CON 15
pGREEN CON 12
pBLUE CON 9
```

```
RED VAR Word
GREEN VAR Word
BLUE VAR Word
```

```
Start:
HIGH LED
```

```
MainIp:
GOSUB Color
DEBUG "R", DEC3 RED
DEBUG " G", DEC3 GREEN
DEBUG " B", DEC3 BLUE
DEBUG CR
GOTO MainIp
```

```
Color:
LOW S2
LOW S3
COUNT Out, pRED, RED
HIGH S3
COUNT Out, pBLUE, BLUE
HIGH S2
COUNT Out, pGREEN, GREEN
RETURN
```

Next, connect the motherboard to your PC, and Run the program you've entered. Two things should now happen: 1) the white LEDs on the sensor module will come on, and 2) you will see output appear in the debug window that looks something like this:

```
R123 G065 B200
R120 G060 B187
etc.
```

These numbers are relative values for the red, green, and blue components of the color the sensor is looking at. With the TCS230-DB perched on its legs atop a piece of white paper, you will notice that the LEDs form a bright spot of light in front of the lens. You may need to adjust the LEDs or the height a bit to make sure that the spots from both merge into a single round spot.

Hardware Notes

No technical discussion of the TCS230 sensor module set would be complete without the material contained in the TAOS TCS230 datasheet. If you do not have this datasheet, you are encouraged to download it from the TAOS website, www.taosinc.com.

The TCS230 has an array of photodetectors, each with either a red, green, or blue filter, or no filter (clear). The filters of each color are distributed evenly throughout the array to eliminate location bias among the colors. Internal to the device is an oscillator which produces a square-wave output whose frequency is proportional to the intensity of the chosen color. There is one output from this oscillator, and the color to be read is selected using two address lines: S2 and S3. In addition, it is possible to program the divide rate of the oscillator using two additional lines, S0 and S1. The settings for these control lines and their functions are summarized below:

S0	S1	Divide	S2	S3	Color
0	0	Pwr. Down	0	0	Red
0	1	1:50	0	1	Blue
1	0	1:5	1	0	Clear
1	1	1:1	1	1	Green

The TCS230 chip's data and control lines are brought directly to the 2mm header, through which it interfaces to the motherboard or to another system. The only exception is the /OE output enable line, which is permanently asserted low. In addition, both S0 and S1 are pulled high through resistors to Vdd, which programs the TCS230 for its maximum output frequency. Therefore, to use this setting, neither S0 nor S1 need to be connected. There are also jumper pads on the TCS230-DB by which either S0 or S1, or both, can be strapped low.

To program the data rate from a BASIC Stamp, it will be necessary to connect S0 and S1 to a programmable port. On the MoBoStamp-pe, this must be done through the AVR coprocessor via the OWOUT instruction, since these signals do not

connect directly to the BASIC Stamp chip. To set S0 and S1 to the values (0 or 1) contained in variables of the same name, use the following PBASIC code:

```
OWIOW OWIO, 0, [S04 + S0, S14 + S1]
```

where the value for OWIO is given in the table below:

The following table maps the TCS230-DB signals to ports on both the MoBoStamp-pe and the MoBoProp boards for sockets A and B, as well as the DB-Expander board:

Signal	MoBoStamp-pe		MoBoProp		DB-Expander
	A	B	A	B	
S0	See code above.		A8	A1	B
S1	See code above.		A9	A0	A
S2	P9	P1	A12	A4	E
S3	P8	P0	A13	A5	F
OUT	P11	P7	A10	A2	C
LED	P12	P5	A11	A3	D
OWIO	P10	P6	—Not Applicable—		

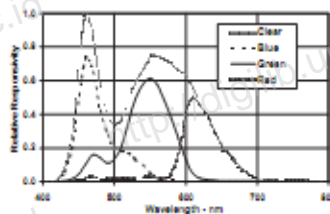
When operating the TCS230-DB using the SIP adapter (DB-Expander) instead of a Parallax motherboard, the correspondence between the signals and SIP pin markings will be that of the last column in the table above. When operated in this fashion, the +5V pin supplies power to the LEDs and must be at least 4.5V for good current regulation and never more than 7.5V. The Vdd pin supplies the rest of the board and can range anywhere from 2.7V to 5.5V. In any event, the LED enable input must be at least 2.0V to turn the LEDs on. Other signal level requirements can be obtained from the TCS230 datasheet.

Optical Data

With the supplied 5.6mm lens and a subject distance of 1" (25mm) from the front surface of the circuit board, the sensor module will

"see" a square area roughly 9/64" (3.5mm) on a side. This means that any color variation within an area that size will be averaged by the TCS230.

The spectral response of any color sensor system is a function not only of the sensor's device response, but also of the system's optics and illumination. The combined response of this module, taking into account the lens' IR filter and the LEDs' emission curve, is shown below:



Software Notes

When used with a BASIC Stamp, the TCS230's output frequency can be read using the Stamp's COUNT statement, as shown in the example code on the front side of this sheet. In this example, S0 and S1 were both pulled "high", enabling the TCS230's fastest output rate. However, this rate can be as much as 600KHz or more at maximum light intensity, which is faster than the BS2 (limited to 120KHz) or the BS2pe (limited to 166KHz) can count. So, S0 and S1 need to be set according to the maximum expected light intensity from the subjects being examined. On the MoBoStamp-pe, you can also measure the output frequency using the AVR coprocessor. This function is built in to the GPIO3 firmware, which can measure input frequencies up to 1MHz. See the GPIO3 documentation for the details. The TCS230's

OUT signal will appear on the GPIO3 firmware's port 2.

In order to save power — especially when battery-operated — you can power off the TCS230 chip by setting S0 and S1 low. You can also operate the LEDs only when reading color. This works because the LEDs come on almost instantly, having no warm-up time as incandescent lamps do. This can be accomplished by strobing LED high only when you need to take a reading. This technique is also useful for cancelling the effects of ambient light. Take one reading with the LEDs on and another with them off, then subtract the second reading from the first to get a more accurate color measure. This only works, of course, when the ambient light doesn't change between readings. Also, if the ambient light comes from a fluorescent light source, be sure that the measurement interval is a multiple of the mains period (1/60 sec. in the U.S.).

The S2 signal line includes a 0.047µF capacitor to ground. This can be used to identify the presence of the TCS230-DB or to determine which MoBoStamp-pe socket it's in, using the following PBASIC code:

```
LOW S2
PAUSE 20
RCTIME S2, 0, Id
```

If, after executing this code, the TCS230-DB is present in the socket tested, the variable Id will have a value of around 35. An empty socket will yield a value of 1, and other TAOS light-to-frequency daughterboards will identify with different values.

Additional information, applications, and software examples can be found on both the TAOS and Parallax websites listed on the front of this sheet.

