

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN OTOMATISASI
PADA ALAT PENGERINGAN SALE PISANG
BERBASIS MIKROKONTROLER RENESAS R8C/13**

SKRIPSI

Oleh:

**LULUK MASRUOH
NIM : 03540014**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MALANG
MALANG
2008**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN OTOMATISASI
PADA ALAT PENGERINGAN SALE PISANG
BERBASIS MIKROKONTROLER RENESAS R8C/13**

SKRIPSI

Diajukan Kepada :
Universitas Islam Negeri Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh:

LULUK MASRUOH
NIM : 03540014

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MALANG
MALANG
2008**

HALAMAN PERSETUJUAN

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN OTOMATISASI PADA ALAT PENGERINGAN SALE PISANG BERBASIS MIKROKONTROLER RENESAS R8C/13

SKRIPSI

Oleh:

LULUK MASRUOH
NIM : 03540014

Telah Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Imam Tazi, M.Si
NIP. 150 327 265

Ahmad Barizi, M.A
NIP. 150 283 991

Tanggal 04 April 2008

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang

Drs. M. Tirono, M.Si
NIP. 131 971 849

HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN OTOMATISASI PADA ALAT PENDINGINAN SALE PISANG BERBASIS MIKROKONTROLER RENESAS R8C/13

SKRIPSI

Oleh:

LULUK MASRUOH
NIM : 03540014

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal 15 April 2008

Susunan Dewan Penguji:

Tanda Tangan

- | | | |
|------------------|---|-----|
| 1. Penguji Utama | : Agus Mulyono, M.Kes
NIP. 150294457 | () |
| 2. Ketua | : Farid Samsu H, S.Si
NIP. 150327266 | () |
| 3. Sekretaris | : Imam Tazi, M.Si
NIP.150327265 | () |
| 4. Anggota | : Ahmad Barizi, M.A
NIP 150283991 | () |

Mengetahui dan Mengesahkan

Ketua Jurusan Fisika

Drs. M. Tirono, M.Si
NIP. 131 971 849

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segelap apapun malam selalu ada bintang diluar sana
Begitupun hidup, semassa apapun hidup pasti selalu ada setitik cahaya
yang mendukungnya, walaupun itu hanya sebuah semangat dan harapan

*Keberhasilan merupakan rangkaian ujian dari Allah Swt.
Sedangkan kegagalan merupakan peringatan dari Allah Swt. bagi umatnya
Dibalik keduanya selalu tersimpan hikmah, karena Allah Swt. selalu
menghadirkan cahaya dan tuntunan terbaik bagi hambanya*

KARYA INI KUPERSEMBAHKAN KEPADA:

*Ibunda terkasih Hj. Khusnul Khotimah, terima kasih telah memberikan
dukungan moril dan materiil selama ini, do'a yang tak pernah putus untuk
keberhasilanku, serta segenap kasih sayang yang tak ternilai. Adik-adikku
Ahmad Zaelani dan Fatchul khoir, buatlah ibu kita bangga karena telah
mempunyai anak-anak seperti kita*

*Suamiku tersayang mas Agus Murtadho, S.Fil.I, terima kasih telah mengisi
hari-hariku dengan cinta, kasih sayang, perhatian, kesabaran, canda dan tawa.
I can't stop loving you*

*Bapak dan ibu dosen fisika: Pak Tazi, Pak Tirono, Pak Basid, Pak Tokhi, Pak
Farid, Pak Agus, Pak Novi, Pak Kris, Pak Irjan, dan Bu Erika. Terima kasih
atas ilmu yang telah bapak dan ibu berikan kepada penulis*

*MY Best Friend: Idho, Nia, Luluk, Siva, Nanik dan Iin. Kalian adalah
anugerah terindah yang telah mewarnai dan memberi keceriaan di setiap
langkah dalam hari-hariku*

*Warga kos "Flamboyan": mbk Ju2k, mbk Din, mbk Yanti, mbk DJ, mbk I2n,
mbk Erna, Endang, I2s, Ervina, Tere, Qoyum dan semua, terima kasih atas
keceriaan dan perhatiannya selama ini. Khusus buat U2s, Febri, dik Phit, dan
A2n makasih telah mengizinkanku ngetik dikomputer kalian.*

*Temen-temanku AFI '03: Rochman, Jazil, Endah, Nisa, Fathur, Rahman,
Adib, Mahrusy, Tomi, Nayir, Kusairi, Anis, Ipunk, Ti2n. Buat yang belum lulus
semoga cepet lulus. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak
langsung telah berjasa dalam penyelesaian karya ini, terima kasih.*

MOTTO

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاحْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي
الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ مَّاءٍ فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ
مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الرِّيْحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ
وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ﴿١٦٤﴾

"Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, silih bergantinya malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia, dan apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengan air itu Dia hidupan bumi sesudah mati (kering)-nya dan Dia sebarkan di bumi itu segala jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi; sungguh (terdapat) tanda-tanda (keesaan dan kebesaran Allah) bagi kaum yang memikirkan" (Al-Baqarah/2: 164)

KATA PENGANTAR

الرَّحِيمِ الرَّحْمَنِ اللَّهُ بِسْمِ

Segenap rasa syukur dengan menyebut nama-Mu ya Allah, tuhan awal segala mula dan noktah segenap akhiran, pemilik kasih nan tak pilih kasih, dan hanya dengan Rahmat dan Hidayah-Mu juahlah yang mengantarkan penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah berjudul " **Perancangan Dan Pembuatan Otomatisasi Pada Alat Pengeringan Sale Pisang Berbasis Mikrokontroler Renesas R8C/13**" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Fakultas Sains dan Teknologi di Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Untuk itu, iringan doa dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan, utamanya kepada:

1. Prof. Dr. Imam Suprayogo selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
2. Prof. Dr. Sutiman B. Sumitro, SU, DSc selaku Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi UIN Malang.
3. Drs. M. Tirono, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi UIN Malang.
4. Imam Tazi, M.Si selaku Dosen Pembimbing I, karena atas bimbingan, bantuan dan kesabaran beliau skripsi ini dapat terselesaikan.

5. Ahmad Barizi, M.A selaku pembimbing II, karena telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan selama penulisan skripsi di bidang integrasi Sains dan Al-Qur'an.
6. Ibunda tercinta yang dengan sepenuh hati memberikan dukungan moril maupun spiritual serta ketulusan do'anya sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Teman-teman fisika, terutama angkatan 2003 beserta semua pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini.

Demikianlah apa yang dapat saya sampaikan dalam tulisan ini, semoga apa yang saya hasilkan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, terutama bagi pihak-pihak yang terkait dengan skripsi ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan keterbatasan dalam skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk menyempurnakan tulisan ini.

Malang, 04 April 2008

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
ABSTRAK.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Perancangan Alat	5
1.4 Manfaat	6
1.5 Batasan masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pohon Pisang dan Sale Pisang.....	7
2.2 Pengeringan Buah dan Hasil Pertanian.....	9

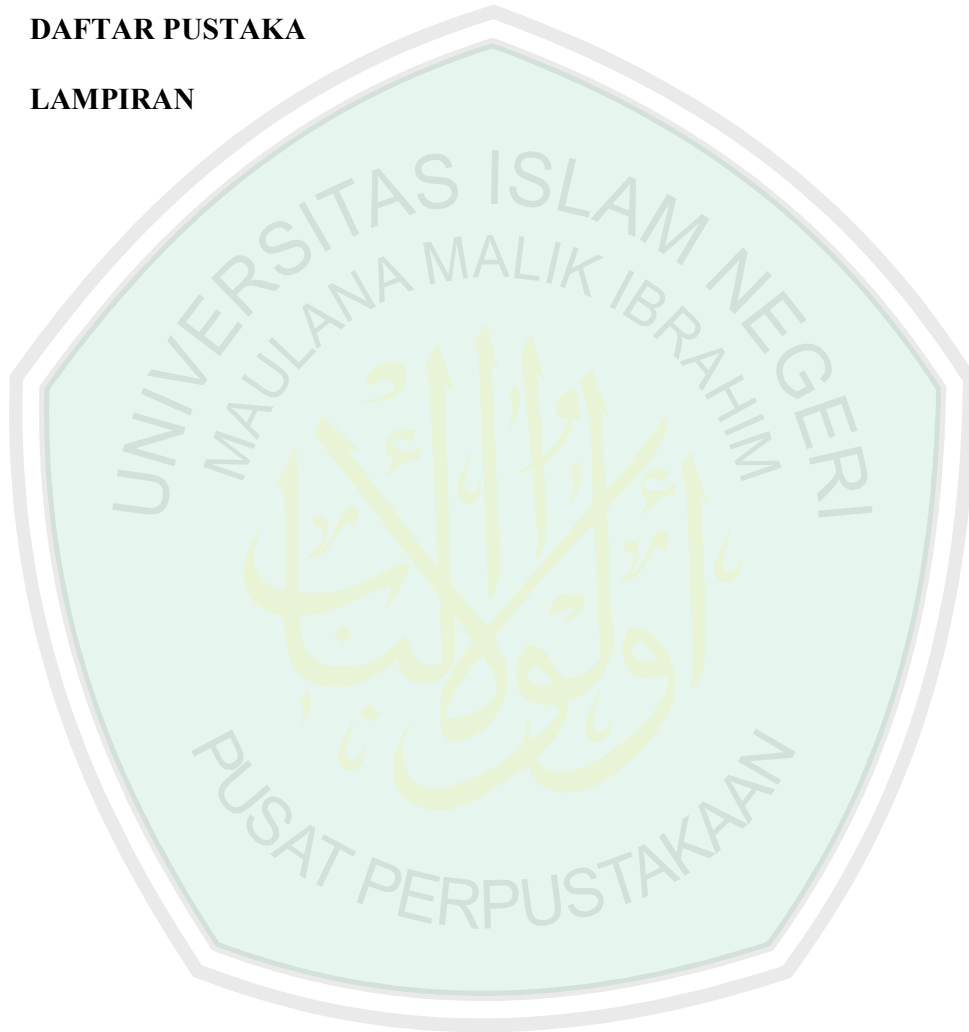
2.3	Alat Pengering	10
2.4	Aliran Udara Pengering	10
2.5	Sensor Suhu	11
2.6	Sensor Massa	12
2.7	Penguat Tak Membalik	13
2.8	ADC R8C/13	14
2.9	Mikrokontroler R8C/13	16
2.10	Relay	20
2.11	Driver Relay	21
2.12	LCD	22
2.13	Pemanas dan Kipas Angin	24
2.15	Keseimbangan Kontrol Dalam Al-Qur'an	25
BAB III	METODE PENELITIAN	29
3.1	Lokasi Dan Waktu	29
3.2	Alat Dan Bahan	29
3.3	Perancangan Dan Pembuatan Alat	30
3.3.1	Perancangan Dan Pembuatan Perangkat Keras	30
3.3.1.1	Perancangan Sistem Keseluruhan	30
3.3.1.2	Perancangan Sensor Suhu	32
3.3.1.3	Perancangan Sensor Massa	32
3.3.1.4	Penentuan Batas Massa Pisang Sale	33
3.3.1.5	Perancangan Rangkaian Penguat Sinyal	35
3.3.1.6	Perancangan Rangkaian ADC R8C/13	37

3.3.1.7 Perancangan Rangkaian Driver Relay	41
3.3.1.8 Perancangan LCD M1632	44
3.3.1.9 Perancangan Mikrokontroler R8C/13.....	46
3.3.2 Perancangan Dan Pembuatan Perangkat Lunak	47
3.3.2.1 Diagram Alir Utama Sistem.....	47
3.3.2.2 Inisialisasi LCD.....	49
3.3.2.3 Pengontrol Suhu	50
3.3.2.4 Pengontrol Massa	51
3.4 Pengujian Alat	52
3.4.1 Pengujian Perangkat Keras.....	52
3.4.1.1 Pengujian Sensor Suhu	52
3.4.1.2 Pengujian Rangkaian Penguat Sinyal.....	53
3.4.1.3 Pengujian Driver Relay	54
3.4.1.4 Pengujian Rangkaian LCD	55
3.4.1.5 Pengujian ADC	56
3.4.2 Pengujian Sistem Keseluruhan	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	58
4.1 Perangkat Keras	58
4.2 Perangkat Lunak	64
4.3 Kotak Pengering	65
4.4 Sistem Keseluruhan	66

BAB V PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran	68

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

2.1. Fungsi Pin-Pin LCD M1632	23
3.1. Tegangan Pada Sensor Massa dan Massa Pisang Basah dan Sale Pisang Penjemuran	34
3.2. Register ADCON0	38
3.3. Pilihan Chanel ADC	39
3.4. Register ADCON1	39
3.5. Operasi Penulisan LCD	45
3.6. Alamat LCD M1632	45
3.7. Pembagian Fungsi Port Mikrokontroler	46
4.1. Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Suhu	58
4.2. Hasil Pengujian Rangkaian Penguat Sinyal	59
4.3a. Hasil Pengujian Rangkaian Driver Relay Pemanas	60
4.3b. Hasil Pengujian Rangkaian Driver Kipas	60
4.4. Hasil Pengujian Rangkaian LCD	61
4.5. Hasil Pengujian Rangkaian ADC Untuk Suhu	61
4.5. Hasil Pengujian Rangkaian ADC Untuk Massa	63

DAFTAR GAMBAR

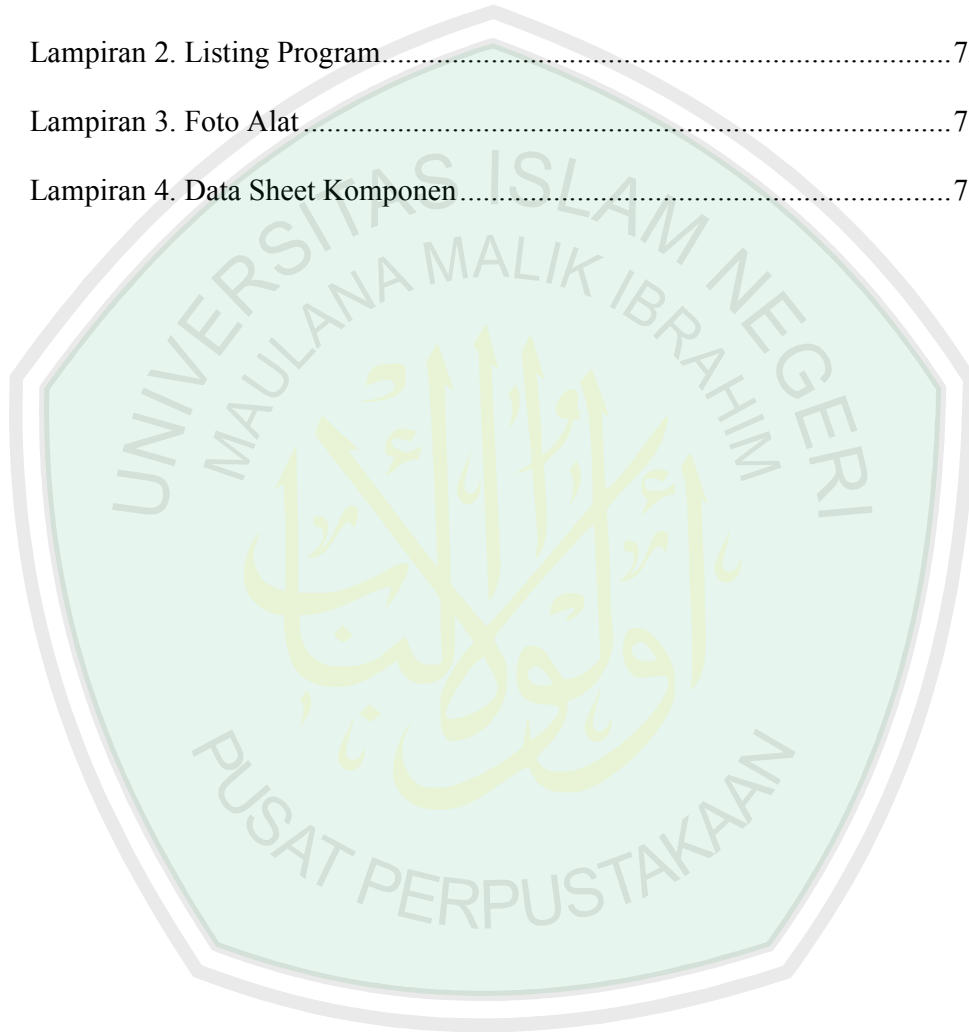
2.1. IC Sensor Suhu.....	12
2.2. Rangkaian Penguat Tak Membalik	13
2.3. Blok Diagram R8C/13	18
2.4. Relay	20
2.5. Rangkaian Driver Relay	21
2.6. Modul LCD M1632.....	24
3.1. Blok Diagram Sistem	31
3.2. Rangkaian Sensor Suhu	32
3.3. Rangkaian Sensor Massa	33
3.4. Rangkaian Penguat Tak Membalik	36
3.5. Blok Diagram ADC.....	37
3.6. Rangkaian Driver Relay Pemanas.....	41
3.7. Rangkaian Driver Kipas	42
3.8 Rangkaian Antar Muka Modul LCD.....	45
3.9 Rangkaian Pembagi Port Mikrokontroler.....	47
3.10 Diagram Alir Utama Sistem.....	48
3.11. Inisialisasi LCD.....	49
3.12. Diagram Alir Pengontrol Suhu	50
3.13. Diagram Alir Pengontrol Massa.....	51
3.14. Rangkaian Pengujian Sensor Suhu.....	53
3.15. Rangkaian Pengujian Penguat Sinyal.....	54

3.16. Rangkaian Pengujian Driver Relay	55
3.17. Rangkaian Pengujian LCD	56
3.18. Rangkaian Pengujian ADC	57
4.1. Grafik Konversi Suhu.....	62
4.2. Grafik Konversi Massa.....	63



LAMPIRAN

Lampiran 1. Rangkaian Sistem Keseluruhan	71
Lampiran 2. Listing Program.....	72
Lampiran 3. Foto Alat	77
Lampiran 4. Data Sheet Komponen.....	79



ABSTRAK

Masruroh, Luluk. 2008. **Perancangan dan Pembuatan Otomatisasi Pada Alat Pengeringan Sale Pisang Berbasis Mikrokontroler Renesas R8C/13.**
Pembimbing: Imam Tazi, M.Si dan Ahmad Barizi, M.A

Kata Kunci: Otomatisasi, Pengeringan, Sale Pisang, Mikrokontroler

Sale pisang merupakan jenis makanan yang dibuat dari buah pisang matang yang diawetkan dengan cara pengeringan sampai tingkat kadar air tertentu. Umumnya proses pengeringan buah-buahan menggunakan panas matahari yang disebut pengeringan alami. Pengeringan alami cukup ekonomis karena tidak membutuhkan peralatan dan biaya yang terlalu banyak, hanya tergantung pada alam. Namun hasil pengeringannya kurang higienis karena rentan terhadap kotoran dan pertumbuhan mikroorganisme. Disamping itu pengeringan hanya dapat dilakukan secara efektif pada musim kemarau dengan kebutuhan waktu berkisar 1 minggu.

Perancangan ini membuat otomatisasi pada sistem pengeringan sale pisang menggunakan mikrokontroler R8C/13 dimana otomatisasi terletak pada kontrol suhu yang menjaga kestabilan suhu ruang pengeringan dan kontrol massa yang menjaga agar massa sale pisang tidak melebihi setting massa yang telah ditentukan. Kestabilan suhu ruang dan terkontrolnya massa sale pisang menunjukkan adanya keseimbangan kontrol. Konsep keseimbangan kontrol telah digambarkan Allah Swt. dalam Al-Qur'an surat Yâsin ayat 37-40 bahwa Peredaran matahari, bulan dan bintang-bintang serta pergantian siang dan malam tidak pernah menyimpang dari aturan yang telah ditetapkan oleh Allah Swt.

Alat pengering sale pisang otomatis bekerja dimulai dengan aktifnya pemanas untuk menaikkan suhu ruang pengering, sensor suhu (LM35) mendeteksi suhu dalam ruang pengering dan aktifnya sensor massa yang mendeteksi massa pisang dan mengubah massa pisang menjadi tegangan. Selama suhu dalam ruang pengering kurang dari 50°C, pemanas (heater) akan dihidupkan. Dan jika suhu lebih besar atau sama dengan 50°C, maka pemanas dimatikan dan kipas (fan) dihidupkan. Proses pengeringan akan berakhir jika nilai massa pisang telah mencapai set point yang telah diberikan sebelumnya.

Alat ini telah dicoba, dengan mengeringkan pisang sebanyak 400 gram yang membutuhkan waktu pengeringan sekitar 12 jam. Alat ini dapat mengeringkan pisang hingga massanya 20% dari massa awal.

ABSTRACT

Masruroh, Luluk. 2008. Design and Fabrication Automation of Instrument Dried Banana Chips Drier Using Renesas Microcontroller R8C/13.
Counselor: Imam Tazi, M.Si and Ahmad Barizi, M.A

Keyword: Automation, Drying, Dried Banana Chips, Microcontroller

Dried banana chips is a kinds of food maked from banana preserved to certain level of water contain. Generally, drying process use heat of sun that mentioned as natural drying. Natural drying exactly economical, because needn't many instrumentation and many costs, only dependent on nature. However, drying product less hygienic because succceptible concerning manure and growing mikcroorganisme. Beside that, drying can only be effective at dry season with necessity time about one week.

This design make automation on drying system dried banana chips using microcontroller R8C/13 where automation be located at temperature control maintain stability temperature of drying room and massa control in order to maintain massa dried banana chips don't excess setting massa determined before. Stability of room temperature and the controlled massa dried banana chips indicate the existence of control balance. Control balance concept has described Allah Swt. In al-Qur'an 'Yasin' verse 37-40 that rotation sun, moon and stars as well as replacement day and night don't ever deviate from set up has determined Allah Swt.

This instrument automatically work begined with starting heater to increase temperature in the drying room, temperature sensor (LM35) detect temperature in drying room and starting massa sensor detect massa of banana and conved to voltage. While temperature in drier room not quite (less from) 50°C, heater will switch on. And if temperature more than or same with 50°C, so heater switch off and fan switch on. Drying process will finish if massa of banana has achieve set point has determined before.

This instrument has been tryed to dry banana 400 gram need drying time about 12 hours. This instrument can dry banana so that the weight decrease to 20% of initial massa.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Bumi merupakan tempat tinggal yang disediakan oleh Allah Swt. bagi makhluk ciptaannya. Manusia merupakan makhluk ciptaan Allah Swt. yang paling mulia. Untuk kelangsungan hidup manusia di bumi, Allah Swt. telah menyediakan berbagai kebutuhan yang diperlukan oleh manusia untuk bertahan hidup yang berupa makanan dan minuman. Atas nikmat yang berupa kehidupan dan berbagai kebutuhan hidup yang telah diberikan Allah Swt. kepada manusia, maka wajib bagi manusia untuk banyak bersyukur kepada Allah Swt.. Kewajiban bersyukur atas nikmat kehidupan dan penghidupan di muka bumi telah dijelaskan di dalam al-Qur'an surat al-A'raaf ayat 10 yang berbunyi:

وَلَقَدْ مَكَّنَّاكُمْ فِي الْأَرْضِ وَجَعَلْنَا لَكُمْ فِيهَا مَعِيشَةً قَلِيلًا ۖ مَا تَشْكُرُونَ ﴿١٠﴾

“Sesungguhnya Kami telah menempatkan kamu sekalian di muka bumi dan Kami adakan bagimu di muka bumi (sumber) penghidupan. Amat sedikitlah kamu bersyukur” (Qs. Al-A'raaf / 7:10)

Surat al-A'raaf di atas mengajarkan kepada kita untuk mensyukuri nikmat yang telah diberikan Allah Swt. kepada manusia. Di antara nikmat itu adalah dijadikannya bumi sebagai tempat tinggal manusia yang dilengkapi dengan berbagai macam kebutuhan hidup berupa makanan dan minuman agar manusia mampu bertahan hidup. Disamping itu, Allah Swt. juga telah menciptakan berbagai macam kemanfaatan di bumi agar manusia dapat hidup senang, yaitu

berupa tanaman, binatang ternak, burung, ikan dan berbagai minuman, makanan yang harum dan berbagai media perjalanan dari satu tempat ke tempat lain yang semakin maju sesuai dengan kemajuan ilmu dan penemuan, baik berupa kapal terbang, mobil, kereta dan lainnya serta berbagai macam cara untuk mengobati orang sakit (Ahmad Musthafa Al-Maraghi, 1993: 191).

Salah satu kebutuhan hidup di bumi yang telah diberikan Allah Swt. kepada manusia untuk bertahan hidup adalah tanaman. Indonesia merupakan negara tropis yang potensial untuk sektor pertanian, oleh karena itu di Indonesia banyak dijumpai tanaman. Salah satu tanaman yang hampir diseluruh wilayah Indonesia dapat dijumpai adalah buah pisang. Banyaknya tanaman buah pisang yang ada, mengharuskan kita untuk mensyukurinya. Salah satu bentuk syukur adalah dengan mengawetkan buah pisang agar lebih tahan lama dengan cara dikeringkan menggunakan alat pengeringan otomatis yang akan dibuat.

Selama ini buah pisang banyak dikonsumsi masyarakat dalam bentuk buah segar dan dalam bentuk produk olahan seperti kripik pisang, pisang goreng, molen pisang dan lain sebagainya. Salah satu produk olahan pisang yang akhir-akhir ini mulai banyak diminati masyarakat adalah sale pisang. Sale pisang adalah hasil olahan buah pisang yang telah mengalami proses pengeringan.

Proses pengeringan buah pisang yang selama ini dilakukan oleh para pembuat sale pisang adalah dengan menjemur buah pisang dibawah sinar matahari yang disebut pengeringan secara alami. Pengeringan alami ini cukup ekonomis karena tidak membutuhkan peralatan yang terlalu banyak, hanya tergantung pada alam. Pengeringan alami ini mempunyai beberapa kelemahan antara lain rentan

terhadap kontaminasi benda asing dan pertumbuhan mikroorganisme serta membutuhkan waktu pengeringan yang lama. Belum lagi proses pengeringan yang sangat tergantung adanya sinar matahari. Jika hari mendung atau hujan maka proses pengeringan tidak dapat berjalan dengan baik.

Kelemahan proses pengeringan secara alami terutama dimusim hujan dapat diatasi dengan menggunakan suatu alat yang berfungsi sebagai pengering dengan sumber panas yang tidak tergantung dari panas sinar matahari dan dapat melakukan proses pengeringan setiap saat dengan waktu yang lebih singkat dan higienis. Salah satu alat pengering yang dapat dipakai pada proses pengeringan sale pisang adalah alat pengering berbentuk kotak dengan rak didalamnya. Alat pengering berbentuk kotak disini akan mengontrol proses pengeringan secara otomatis dengan variable-variabel yang dikontrol secara ketat oleh sistem kontrol dan diharapkan menghasilkan sale pisang yang berkualitas.

Kualitas sale pisang yang dihasilkan menunjukkan efektifitas proses pengeringan, sedangkan otomatisasi alat pengering berfungsi untuk mengefisiensikan sumber daya manusia karena operator tidak harus selalu mengecek kondisi dari alat pengering sekaligus untuk mengurangi kesalahan yang mungkin terjadi akibat kesalahan operator (*Human Error*).

Pembahasan mengenai proses pengeringan sebelumnya pernah dilakukan diantaranya Pengeringan Ikan Teri Nasi dimana Masukan yang diberikan pada mesin pengering ini berupa setting suhu dan kelembaban, dimana proses pengeringan akan berhenti secara otomatis jika kelembaban mencapai set point yang diinginkan. Tidak menggunakan blower untuk mengalirkan udara panas

kedalam ruang pengering. Alat pengering ikan teri nasi ini menerapkan sistem kontrol on-off untuk mengontrol proses pengeringan (Ahnaf Umam, 2004).

Pengeringan Daging Sapi dimana suhu mesin pengering telah ditentukan pada waktu pembuatan. Masukan berupa tingkat kekeringan daging referensi yang berfungsi sebagai pembanding dan penentu berakhirnya proses pengeringan. Proses pengeringan berakhir saat tingkat kekeringan daging sama dengan tingkat kekeringan daging referensi. Menggunakan seven segment sebagai unit penampil suhu ruang pengering selama proses pengeringan berlangsung. Mesin pengering daging sapi otomatis menggunakan sistem kontrol dua posisi untuk mengontrol proses pengeringan (Novita Kusumawati, 2004).

Pengeringan Pisang Menjadi Chip Pisang dimana mesin pengering dilengkapi dengan blower yang bisa diatur kecepatan putarnya. Proses pengeringan berlangsung sesuai dengan setting waktu yang telah diberikan sebelumnya (Masy Ari Ulinuha, 2006).

Dalam Skripsi kali ini akan membahas perancangan dan pembuatan otomatisasi pada alat pengering pisang menjadi sale pisang, dimana otomatisasi proses pengeringan pada alat pengering sale pisang disini dilakukan oleh mikrokontroler Renesas R8C/13 menggunakan bahasa pemrograman bahasa C.

Keistimewaan alat pengering sale pisang ini antara lain terdapatnya sensor massa yang digunakan untuk mengontrol massa pisang menjadi sale pisang. Penggunaan sensor massa dalam proses pengeringan belum dibahas dalam skripsi-skripsi sebelumnya. Alat pengering dilengkapi dengan display yang dirancang guna memudahkan operator memantau proses pengeringan. Selain itu

metode pengeringan sale pisang ini menggunakan kontrol massa pisang sehingga proses pengeringan berakhir saat massa pisang telah mencapai set point yang telah diberikan sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah ditekankan pada:

- 1) Bagaimana menentukan batas massa pisang menjadi sale pisang?
- 2) Bagaimana merancang dan membuat suatu sistem pengeringan otomatis pada pembuatan sale pisang?
- 3) Bagaimana merancang dan membuat perangkat keras dan perangkat lunak sistem secara terpadu berbasis mikrokontroler Renesas R8C/13?

1.3 Tujuan Perancangan Alat

Tujuan dari perancangan dan pembuatan alat ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan batas massa pisang menjadi sale pisang
- 2) Merancang dan membuat suatu sistem pengeringan otomatis pada pembuatan sale pisang
- 3) Merancang dan membuat perangkat keras dan perangkat lunak sistem secara terpadu berbasis mikrokontroler Renesas R8C/13

1.4 Manfaat

Manfaat otomatisasi pada alat pengering sale pisang adalah sebagai berikut:

1) Bagi Pengembangan Ilmu

Menambah khasanah karya penelitian di bidang fisika instrumentasi khususnya mengenai pembuatan alat pengering serta dapat memotivasi para peneliti lain untuk mengadakan penelitian lanjutan.

2) Bagi Masyarakat

Dapat dijadikan sebagai alternatif alat pengering pisang menjadi sale pisang saat musim hujan maupun cuaca mendung dengan waktu relatif lebih cepat dan higienis.

1.5 Batasan Masalah

Agar perancangan lebih sistematis dan terarah, maka ditentukan batasan masalah sebagai berikut:

- 1) Otomatisasi dilakukan oleh mikrokontroler Renesas R8C/13
- 2) Pembuatan instrumen sensor massa yang dapat mendeteksi massa pisang menjadi sale pisang menggunakan potensiometer
- 3) Metode pengeringan menggunakan kontrol massa buah pisang
- 4) Tidak membahas catu daya sistem
- 5) Tidak membahas perancangan mekanis secara detail

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tumbuhan Pisang dan Sale Pisang

Tumbuhan pisang merupakan salah satu jenis tumbuhan yang banyak terdapat di Indonesia. Tumbuhan pisang merupakan salah satu buah-buahan surga. (Ahmad Musthafa al-Maraghi, 1989: 254) Sebagaimana firman Allah Swt. dalam surat al-Wāqī'ah ayat 28 sampai 33 yang berbunyi:

فِي سِدْرٍ مَّخْضُودٍ ﴿٢٨﴾ وَطَلْحٍ مَّنْضُودٍ ﴿٢٩﴾ وَظِلِّ مَمْدُودٍ ﴿٣٠﴾ وَمَاءٍ مَّسْكُوبٍ ﴿٣١﴾
وَفِكَهَةٍ كَثِيرَةٍ ﴿٣٢﴾ لَا مَقْطُوعَةٍ وَلَا مَمْنُوعَةٍ ﴿٣٣﴾

“ Berada di antara pohon bidara yang tidak berduri, dan *pohon-pohon pisang yang bersusun-susun (buahnya)*, dan naungan yang terbentang luas, dan air yang tercurah, dan buah-buahan yang banyak, yang tidak berhenti (buahnya) dan tidak terlarang mengambilnya.” (QS. Al-Wāqī'ah/ 56: 28-33)

Pohon pisang mempunyai buah yang bersusun-susun dari bawah sampai keatas sehingga tidak ada batang yang kelihatan. Ilmu pengetahuan modern mengakui bahwa buah pisang memiliki khasiat untuk mencegah beberapa jenis penyakit. Dalam buah pisang terkandung zat-zat yang sangat bermanfaat bagi tubuh manusia seperti protein, potassium dan lain-lain.

Banyaknya manfaat yang diperoleh tubuh dengan mengonsumsi buah pisang menginspirasi peneliti untuk membuat suatu alat yang dapat mengolah buah pisang menjadi makanan yang tahan lama namun tidak mengurangi kandungan zat-zat didalamnya.

Buah pisang dapat dibedakan atas 4 golongan yaitu: (1) pisang yang dapat dimakan langsung contohnya pisang kepok, susu, hijau, emas, raja, ambon, dll. (2) pisang yang dapat dimakan setelah diolah terlebih dahulu contohnya pisang tanduk, oli, kapas. (3) pisang yang dapat dimakan langsung setelah masak maupun diolah terlebih dahulu contohnya pisang kepok, raja, ambon. (4) pisang yang dapat dimakan sewaktu masih mentah contohnya pisang klutuk atau batu untuk dibuat rujak (Hendro Sunaryono, 2003:41).

Pisang adalah buah yang sangat berkhasiat, per 100 gram pisang segar terdiri atas air (75,7%), protein (1.1%), karbohidrat (22,2%) dan lemak (0.2%). Setiap biji buah pisang juga mengandung karbohidrat dan potassium yang cukup. Pisang berkhasiat untuk penyembuhan demam, gangguan sistem kerja pencernaan, kejang-kejang, dan tergeliat. Tingginya jumlah potassium yang dikandungnya (0.24%) melancarkan sistem metabolisme di dalam tubuh (Suhardiman, 1997: 11).

Pisang, buah yang kaya vitamin baik vitamin A maupun vitamin B. Kandungan gula buah pisang matang diperkirakan 20%, mempunyai perbandingan rata-rata 15 fruktosa dan 65 sukrosa. Kandungan protein pisang relatif sedikit, sedangkan asam aminonya cukup kaya lysine dan cystine tetapi sedikit methionine. Kandungan asam bebasnya terdiri atas histidine, serine, valine, dan arginine. Buah pisang dapat digunakan sebagai makanan pengganti bagi orang yang sedang diet lemak, dengan kadar kolesterol sangat rendah. Pisang sangat dianjurkan dikonsumsi pasien menjelang kesembuhan (Suhardiman, 1997: 11-12).

Sale pisang merupakan jenis makanan yang dibuat dari buah pisang matang yang diawetkan dengan cara pengeringan sampai tingkat kadar air tertentu, sekitar 15-18 persen dan secara relatif kadar gula naik. Warna pisang sale berkisar antara coklat muda sampai coklat kehitaman. Biasanya pisang dijemur untuk menjadikannya pisang sale. Produk akan lebih baik mutunya jika pisang dikeringkan dengan alat pengering (Suhardiman, 1997: 70).

2.2 Pengeringan Buah dan Hasil Pertanian

Pengeringan merupakan usaha penurunan kadar air bahan pertanian agar memudahkan proses berikutnya, serta mengurangi resiko kerusakan akibat serangan mikroorganisme perusak dan aktivitas biologis selama penyimpanan.

Proses pengeringan adalah menciptakan kondisi perbedaan tekanan uap air dibahan dan diudara. Kondisi adanya perbedaan tekanan uap air dapat dibuat dengan cara : Pertama dengan menaikkan suhu udara pengering pada kandungan uap air di udara tetap, dengan suhu udara dinaikan maka akan terjadi perpindahan panas dari bahan ke udara dan mengakibatkan naiknya suhu bahan dan tekanan uap air di bahan. Kedua adalah dengan menurunkan tekanan udara di sekitar bahan, hal ini menciptakan tekanan uap air di udara mengecil (pengeringan vakum). Ketiga adalah dengan menurunkan suhu udara di sekitar bahan (pengeringan dingin) (Yohanes, 2003).

2.3 Alat Pengering

Alat pengering adalah alat yang digunakan untuk menurunkan kadar air suatu bahan. Dalam alat pengering sumber panas dibuat dengan memanaskan

udara dalam ruang pemanas. Udara ditiupkan oleh kipas (fan) melewati ruang pemanas. Udara panas yang dihasilkan, dialirkan keruang yang terdapat susunan bahan yang dikeringkan. Waktu yang diperlukan untuk mengeringkan bahan menggunakan alat pengering lebih cepat dari pengeringan alami.

2.4 Aliran Udara Pengering

Untuk mempercepat proses pengeringan hasil pertanian dilakukan dengan cara udara pengering disirkulasikan secara kontinu melewati bahan yang dikeringkan.

Hasil pertanian dapat mengering karena terkena hembusan angin. Hal ini telah disebutkan Allah Swt. dalam al-Qur'an surat ar-Rûm ayat 51 yang berbunyi: (Ahmad Musthafa al-Maraghi(21): 115)

وَلَيْنَ أَرْسَلْنَا رِيحًا فَرَأَوْهُ مُصْفَرًّا لَّظَلُّوا مِنْ بَعْدِهِ يَكْفُرُونَ ﴿٥١﴾

”Dan sungguh, jika Kami mengirimkan angin (kepada tumbuh-tumbuhan) lalu mereka melihat (tumbuh-tumbuhan itu) menjadi kuning (kering), benar-benar tetaplah mereka sesudah itu menjadi orang yang ingkar ” (QS. Ar-Rûm/ 30: 51)

Surat ar-Rûm ayat 51 diatas menjelaskan bahwa suatu bahan dapat kering oleh hembusan angin yang panas. Manfaat hembusan angin pada pengeringan suatu bahan dalam ayat diatas mengajarkan kepada kita bahwa untuk mengeringkan suatu bahan dengan cepat diperlukan sirkulasi udara melewati bahan yang dikeringkan (hembusan angin). Konsep pengeringan inilah yang digunakan dalam penelitian ini.

Aliran (sirkulasi) udara pengering melewati bahan harus dikontrol polanya, karena udara pengering berfungsi memindahkan panas ke dalam sistem

pengeringan dan memindahkan uap air ke luar sistem pengeringan. Apabila sistem perpindahan panas dari udara pengering terjadi secara efisien, maka potensi penguapan air dari bahan ke udara pengering menjadi lebih besar. Kondisi ini harus dilanjutkan dengan proses membawa uap air dari permukaan bahan ke luar sistem pengeringan (kotak pengering). Uap air dari bahan menyebabkan kelembaban udara pengering meningkat, hal ini menghambat laju pengeringan. Untuk menghindari hal itu udara pengering yang telah membawa uap air harus segera dialirkan keluar sistem pengeringan dan digantikan udara segar (Yohanes, 2003).

2.5 Sensor Suhu

Suhu menyatakan panas atau dinginnya sesuatu. Semakin panas suatu benda semakin tinggi suhunya (Sears dan Zemansky, 1991:354). Sensor suhu adalah suatu transduser yang digunakan untuk mengkonversi besaran suhu menjadi besaran listrik. Sensor suhu yang biasa digunakan adalah IC LM35 yang dikemas dengan sangat kompak. LM35 tidak memerlukan kalibrasi eksternal ataupun timing khusus, dengan range pengukuran antara 0°C – 100°C . Sensor ini mempunyai karakteristik yang linier serta sensitivitas sebesar $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ (Widodo, dkk, 2005: 119).

Apilikasi IC LM35 sangat mudah karena output yang linier dan impedansi keluaran yang rendah. Suhu untuk pengeringan buah yang aman berkisar antara 35°C - 63°C , suhu idealnya adalah 48°C . Gambar IC sensor LM35 sebagai berikut:



2.6 Sensor Massa

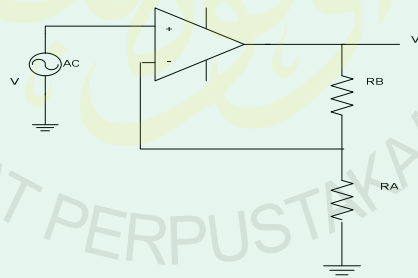
Pada saat pisang dalam keadaan basah, massa pisang dapat menekan pegas lebih kuat sehingga dapat memutar potensio putar menjauhi posisi awal. Sebaiknya ketika pisang mulai berkurang massanya karena proses pengeringan, potensio putar akan mulai berputar mendekati posisi semula. Perputaran potensio inilah yang menghasilkan nilai tegangan pisang basah dan tegangan pisang sale. Saat pisang dalam keadaan basah (berat) potensio putar berputar menjauhi posisi awal sehingga tegangan pisang bernilai besar, sebaliknya saat pisang ringan (sale pisang) potensio putar berputar mendekati posisi awal sehingga nilai tegangannya kecil. Kenaikan tegangan pada sensor terjadi secara linier seiring penambahan beban.

Bagian utama dari sensor massa adalah sebuah pegas yang dihubungkan dengan potensio putar oleh sebuah tuas. Potensio putar berfungsi sebagai rangkaian pembagi tegangan sehingga pergeseran potensio menghasilkan nilai tegangan pisang basah (berat) dan tegangan pisang sale (ringan).

2.7 Penguat Tak Membalik

Penguat tak membalik adalah penguat operasional (op-amp) yang menggunakan umpan balik negatif untuk menstabilkan perolehan tegangan keseluruhan. Dengan jenis penguat ini, umpan balik negatif juga menaikkan impedansi masukan dan menurunkan impedansi keluaran (Malvino, 2004: 123). Rangkaian penguat tak membalik adalah seperti yang terlihat pada gambar 2.2.

penguatan tegangan dari rangkaian ini ialah $1 + \frac{R_B}{R_A}$



Gambar 2.2 Rangkaian Penguat Tak Membalik
Sumber: Widodo, 2004: 62

Dari rangkaian diatas, dapat dihitung V_o sebagai berikut: (Widodo, 2004: 62)

$$V_o = \left(1 + \frac{R_B}{R_A}\right)V_i \quad \dots\dots\dots(\text{Pers. 1.1})$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_B}{R_A}\right) \quad \dots\dots\dots(\text{Pers 1.2})$$

Fungsi dari rangkaian penguat tak membalik disini adalah untuk menguatkan tegangan keluaran dari sensor yang terlalu rendah agar sesuai dengan masukan yang dibutuhkan oleh ADC.

2.8 ADC R8C/13

Keluaran dari penguat sinyal berupa sinyal analog sehingga harus diubah terlebih dahulu menjadi sinyal digital agar dapat diolah oleh mikrokontroler. Rangkaian yang digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital disebut rangkaian ADC.

ADC R8C/13 merupakan pintu gerbang MCU R8C/13 ke dunia nyata. ADC R8C/13 adalah bagian dari mikrokontroler Renesas R8C/13 yang memiliki karakteristik antara lain akurasi ditentukan oleh jumlah bit (8,10), teknologi konversi (*Successive Approximation*), frekuensi sampling, tegangan masukan $0V - V_{ref}$, mode operasi: mode one-shot dan mode repeat. (Hardware Manual R8C/13)

MCU R8C/13 memiliki 12 channel ADC. Ke-12 channel tersebut dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu grup Port 0 dan grup Port 1. Nilai tegangan masukan dari ke-12 channel ADC tersebut diumpankan ke sebuah multiplekser, dari multiplekser diumpankan lagi ke satu buah *successive approximation* ADC. Besar tegangan dari channel yang dipilih kemudian dikonversikan menjadi sebuah nilai digital berukuran 8-bit atau 10-bit, tergantung dari resolusi yang dipilih.

Saat melakukan konversi, sebuah tegangan pembanding (referensi) diperlukan. Tegangan referensi ini dapat diberikan dari luar MCU. Saat proses

konversi tidak dilakukan, tegangan referensi dapat diputus sehingga mengurangi konsumsi daya oleh MCU.

Pada MCU renesas R8C/13, periode ADC ditentukan oleh clock yang digunakan. Periode ADC(ϕ_{AD}) adalah unit waktu yang digunakan dalam proses konversi oleh ADC. Pada MCU R8C/13, frekuensi (ϕ_{AD}) harus diatur sedemikian sehingga tidak lebih dari 10 MHz. Apabila fungsi Sample-and-Hold tidak digunakan, frekuensi (ϕ_{AD}) tidak boleh kurang dari 250 kHz. Apabila fungsi Sample-and-Hold digunakan, frekuensi (ϕ_{AD}) tidak boleh kurang dari 1 Mhz.

Ada tiga macam frekuensi ϕ_{AD} yang dapat digunakan, yaitu f_{AD} , $f_{AD}/2$, dan $f_{AD}/4$. Frekuensi ADC sebesar f_{AD} artinya ϕ_{AD} adalah sebesar perioda clock MCU. Frekuensi ϕ_{AD} harus 10 MHz atau lebih kecil. Untuk mempercepat proses konversi pada ADC, fungsi Sample-and-Hold dapat digunakan. Namun ada batasan dalam penggunaan fungsi ini, yaitu ϕ_{AD} harus berada di antara 1 MHz sampai 10 MHz. Tanpa fungsi Sample-and-Hold, waktu yang digunakan untuk mengkonversi data adalah $49 \phi_{AD}$ untuk resolusi 8-bit dan $59 \phi_{AD}$ untuk resolusi 10-bit. Dengan fungsi Sample-and-Hold, waktu yang digunakan untuk mengkonversi data adalah $28 \phi_{AD}$ untuk resolusi 8-bit dan $33 \phi_{AD}$ untuk resolusi 10-bit. Secara umum, waktu yang digunakan untuk mengkonversi data inilah yang disebut perioda sampling ADC yang sesungguhnya (<http://new.indorenesas.com>. 5/12/2007).

2.9 Mikrokontroler R8C/13

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler umumnya terdiri dari CPU, memori, I/O tertentu dan unit pendukung seperti analog-to digital converter (ADC) yang sudah terintegrasi didalamnya. Kelebihan utama mikrokontroler adalah tersedianya RAM dan peralatan I/O pendukung sehingga ukuran board mikrokontroler menjadi sangat ringkas (Widodo, 2004: 133).

Mikrokontroler R8C/13 adalah mikrokontroler 16 bit yang diproduksi oleh renesas teknologi, Inc. Mikrokontroler R8C/13 memiliki instruksi bahasa assembly yang mampu memproses data berukuran 16-bit. Mikrokontroler R8C/13 dibuat dengan proses *silicon-gate* CMOS dengan performansi tinggi. Mikrokontroler R8C/13 diproduksi dalam kemasan LQFP 32 kaki. Mikrokontroler R8C/13 memiliki data flash (pengganti EEPROM) internal sebesar 2 KB x 2 blok. Mikrokontroler R8C/13 menggunakan pengalamatan berukuran 20-bit, sehingga mampu mengalami *address space* sebanyak 1 mega byte.

2.9.1 Fitur R8C/13

Mikrokontroler R8C/13 memiliki fitur-fitur sebagai berikut: (RPI, 2008:3)

- 22 pin masukan / keluaran + 2 pin masukan
- ROM 16 KB
- RAM 1KB
- Data flash ROM 4 KB
- 12 channel ADC 10 bit

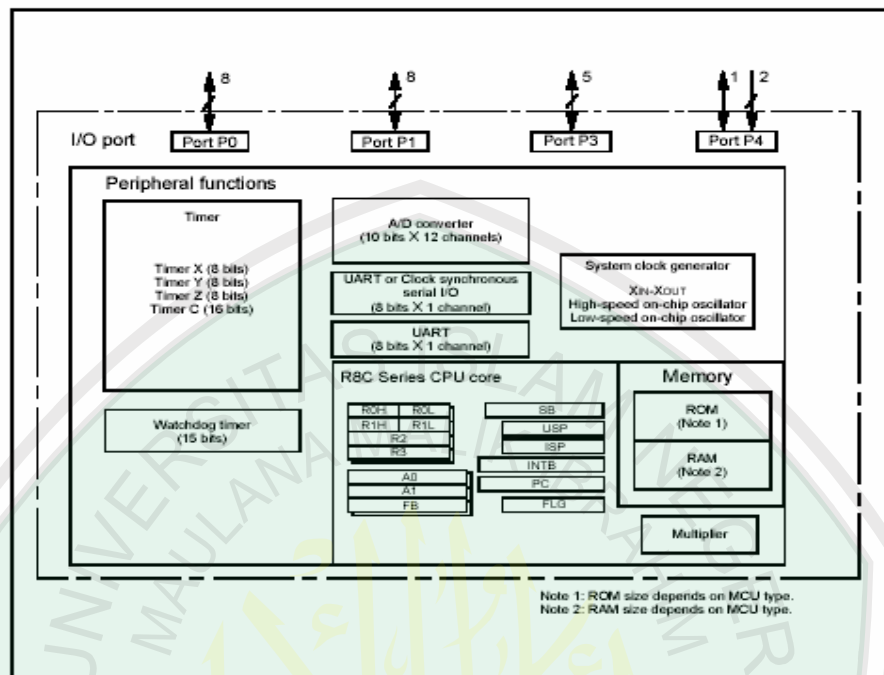
- 4 Timer
- 2 UART/Serial

2.9.2 Port I/O

Mikrokontroler R8C/13 memiliki 4 buah port digital, yaitu P0, P1, P3 dan P4. P0 dan P1 memiliki 8pin yang semuanya dikendalikan oleh tiap bit pada register p1 dan p0. Port P3 dan P4 bukan merupakan port yang genap (memiliki 8 pin). Port P3 memiliki P30, P31, P32, P34 dan P37 yang masing-masing dikendalikan oleh pin p3_0, p3_1, p3_2, p3_4 dan p3_7 pada register p3. Port P4 memiliki pin P45, P46 dan P47 yang masing-masing dikendalikan oleh pin p4_5, p4_6 dan p4_7 pada register p4. semua pin pada port digital R8C/13 merupakan pin input dan output, kecuali pin P46 dan P47 yang merupakan pin input saja.

Tiap pin pada port R8C/13 memiliki kemampuan untuk menyerap (sinking) arus dari luar mikrokontroler sebesar 5mA. Port P1 juga dilengkapi dengan mode High Drive, dimana pada mode ini tiap pin pada port P1 dapat menyerap arus dari luar mikrokontroler sebesar 15mA (RPI, 2008:18).

Gambar blok diagram mikrokontroler R8C/13 adalah sebagai berikut:
(Hardware Manual, 2005: 14)



Gambar 2.3 Blok Diagram R8C/13
 Sumber: Hardware Manual, 2005: 14

2.9.3 Memori (RAM/ROM)

Memori adalah unit penyimpanan data pada MCU. Memori menangani setting peripheral dan penyimpanan data, baik sementara maupun permanen. Untuk mengakses data pada memori, digunakanlah pengalamatan (addressing). Alokasi alamat pada R8C/13 (khusus untuk part number R5F21134FP) adalah sebagai berikut: (RPI, 2008: 23)

- SFR (Special Function Register) adalah register kontrol untuk menyimpan setting peripheral function dengan alamat 00000h – 002FFh.
- RAM (Random Access Memory) adalah berupa SRAM yang sebenarnya merupakan flip-flop sehingga tidak dapat dibuat dengan ukuran yang besar. RAM ini berukuran 1Kbyte dengan alamat 00400h – 007FFh.

- ROM (Read Only Memory / Flash) adalah tempat penyimpanan program sekaligus juga tempat penyimpanan data permanen yang berupa konstanta. MCU R8C/13 juga mempunyai tempat penyimpanan data user secara permanen. ROM pada R8C/13 adalah berupa flash memory. Kelebihan flash memory adalah dapat ditulis dengan cepat dan hanya memerlukan satu catu daya. Kekurangan flash memory adalah tiap byte data tidak dapat dihapus satu persatu, melainkan sekaligus dalam satu blok, selain itu satu byte pada flash memory tidak dapat ditulis ulang. ROM pada R5F21134FP terdiri atas program area yang merupakan tempat penyimpanan baris-baris program dan konstanta dan data area yang merupakan tempat penyimpanan data user secara permanen. Program area terdiri atas 2 buah blok yaitu blok 0 dan blok 1 yang masing-masing berukuran 8Kbyte. Sedangkan data area terdiri dari 2 blok yaitu blok A dan blok B yang masing-masing berukuran 2 Kbyte. Alamat ROM untuk program adalah 0C000h – 0FFFFh, sedangkan alamat ROM untuk data adalah 02000h – 02FFFh.

2.9.3.1 Timer

MCU R8C/13 memiliki 4 buah timer yang memiliki fungsi berbeda-beda.

- (1) Timer X merupakan timer 8 bit dengan prescaler 8 bit yang berfungsi sebagai timer mode, pulse output mode, event counter mode, pulse width measurement mode dan pulse period measurement mode.
- (2) Timer Y merupakan timer 8 bit dengan prescaler 8 bit dan dapat digandeng dengan timer Z. Fungsi timer Y adalah sebagai timer mode dan programmable waveform generation mode.
- (3) Timer Z merupakan timer 8 bit dengan prescaler 8 bit yang dapat digandeng

dengan timer Y. fungsi timer Z adalah sebagai timer mode, programmable waveform generation mode, programmable one-shot generation mode, dan programmable wait one-shot generation mode. (4) Timer C merupakan timer 16 tanpa prescaler yang berfungsi sebagai input capture mode dan output compare mode (RPI, 2008: 25-26).

2.10 Relai

Relai merupakan piranti elektromagnetis yang sering digunakan pada industri otomotif maupun peralatan elektronik. Relai berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik yang dikontrol dengan memberikan tegangan dan arus tertentu pada koilnya (Widodo, 2005: 169).

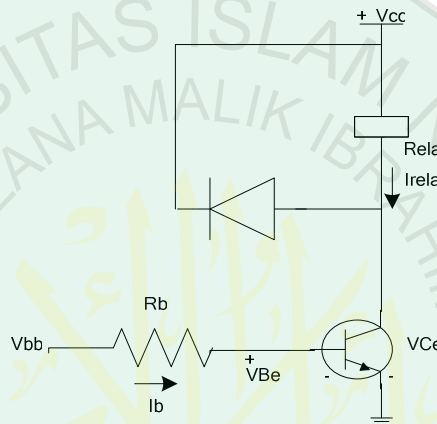
Relai berisi suatu kumparan yang apabila dimagnetisasi arus searah akan membangkitkan medan magnet yang akan menghubungkan atau memutuskan kontak mekanis (KF Ibrahim, 1996: 180).



Gambar 2.4 Relai
Sumber: KF Ibrahim, 1996: 180

2.11 Driver Relai

Untuk menggerakkan relai diperlukan suatu driver, driver relai yang dirancang menggunakan transistor. Rangkaian yang umum digunakan adalah rangkaian common emitter dengan relai sebagai beban. Gambar rangkaian driver relai ditunjukkan sebagai berikut: (Malvino,1996: 130)



Gambar 2.5 Rangkaian Driver Relai
Sumber: Malvino,1996: 130

Dengan nilai resistansi relai yang diketahui sebesar R_{relai} maka didapat:

$$I_{relai} = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{R_{relai}} \dots\dots\dots (Pers.1.3)$$

Jika $I_{relai} = I_c$ dengan nilai h_{fe} minimum maka nilai I_B minimum yang diperlukan agar transistor dalam keadaan saturasi adalah

$$I_B = \frac{I_c}{h_{fe}} \dots\dots\dots (Pers 1.4)$$

Dengan $V_{be}=0,7V$ maka nilai tahanan R_b dapat dicari yaitu

$$R_b = \frac{V_{bb} - V_{be}}{I_b} \dots\dots\dots (Pers 1.5)$$

Driver relai dalam perancangan alat ini berfungsi untuk menggerakkan pemanas dan kipas. Pemanas (heater) dan kipas (fan) adalah beban yang akan dikendalikan oleh mikrokontroler. Dalam perancangan ini digunakan dua buah driver, satu driver relai untuk menghidupkan dan mematikan pemanas (heater) dan satu driver untuk menghidupkan dan mematikan kipas (fan) .

2.12 LCD (*Liquid Cristal Display*)

Modul tampilan yang digunakan dalam aplikasi ini adalah LCD M1632. LCD tipe M1632 merupakan suatu jenis tampilan yang menggunakan *liquid cristal* dan menampilkan suatu karakter secara dot matrik. Modul LCD ini membutuhkan daya yang kecil dan dilengkapi dengan panel LCD dengan tingkat kontras yang cukup tinggi serta pengendali LCD CMOS yang terpasang dalam modul tersebut. Pengendali mempunyai pembangkit karakter ROM/RAM dan display data RAM. Semua fungsi display diatur oleh instruksi-instruksi sehingga modul LCD ini dapat dengan mudah dihubungkan dengan unit mikrokontroler. LCD tipe ini tersusun sebanyak 2 baris dengan setiap baris terdiri atas 16 karakter. (User Manual LCD M1632, 1987:1)

Spesifikasi modul LCD M1632 adalah sebagai berikut: (User Manual LCD M1632, 1987:1)

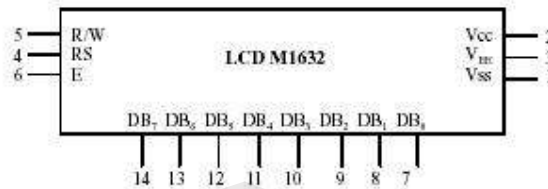
1. Terdiri dari 32 karakter dengan 2 baris masing-masing 16 karakter dengan display dot matrik 5x7 dan kursor.
2. Karakter generator ROM dengan 192 tipe karakter
3. Karakter generator RAM dengan 8 bit karakter
4. 80x8 bit display data RAM (maksimal 80 karakter)

5. Dapat diinterface ke MCU 8 atau 4 bit
6. Dilengkapi fungsi tambahan: display clear, cursor home, display ON/OFF, cursor ON/OFF, display character blink, cursor shift dan display shift.
7. Internal otomatis reset pada saat power ON
8. Tegangan supply +5V tunggal.
9. Beroperasi pada temperatur antara 0 °C – 50 °C.

LCD M1632 mempunyai 16 pin yang mempunyai fungsi seperti diperlihatkan dalam table 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Fungsi pin-pin LCD M1632

No	Nama Pin	Fungsi
1	V _{SS}	Terminal ground
2	V _{CC}	Tegangan catu +5V
3	V _{ee}	Drive LCD
4	RS	Sinyal pemilih register 0: instruksi register (tuliskan) 1: data register (tuliskan dan baca)
5	R/W	Sinyal seleksi tulis atau baca 0: tulis 1: baca
6	E	Sinyal operasi awal, sinyal ini mengaktifkan data tulis dan baca
7	DB0-DB7	Merupakan saluran data, berisi perintah dan data yang akan ditampilkan.
8	V+BL	Tegangan positif backlight (4-4,2V: 50-200mA)
9	V-BL	Tegangan negatif backlight (0V: GND)



Gambar 2.6 Modul LCD M1632

Sumber: User Manual

2.13 Pemanas dan Kipas Angin

Pemanas (*Heater*) adalah suatu bahan yang mampu menghasilkan energi panas bila diberi tegangan bolak balik. Bahan-bahan yang paling banyak digunakan untuk pembuatan elemen pemanas listrik terdiri dari campuran krom + nikel, krom + nikel + besi, krom + nikel + aluminium. Kawat untuk elemen pemanas listrik harus memenuhi syarat: tahan lama pada suhu yang dikehendaki, mekanis harus cukup kuat pada suhu yang dikehendaki, koefisien muai harus kecil sehingga perubahan bentuknya pada suhu yang dikehendaki tidak terlalu besar, tahanan jenis harus tinggi, koefisien suhu harus kecil sehingga arus kerja sedapat mungkin konstan.

Bahan yang digunakan sebagian besar ditentukan oleh suhu maksimal yang dikehendaki. Logam-logam campuran tersebut diatas dapat digunakan antara 100°C-1250 °C. Sebagai penyangga panas maka diperlukan isolasi. Bahan isolasi kawat pemanas tidak boleh mengadakan reaksi kimia dengan bahan pengawatnya pada suhu penggunaan. Syarat ini terutama penting untuk bahan-bahan isolasi keramik seperti porselen. .

Kipas angin (fan) adalah suatu perangkat yang digunakan untuk mendorong angin. Cara kerja dari kipas angin adalah menarik udara dari satu sisi dan menghembuskan hasil tarikan tadi ke sisi yang lain. Volume udara yang dipindahkan sebanding dengan kecepatan putar kipas angin. Beda antara tekanan udara di depan dan di belakang kipas angin sebanding dengan kuadrat kecepatan putar tersebut (Harten, 1985: 142).

2.14 Keseimbangan Kontrol Dalam Al-Qur'an

Allah Swt., tuhan yang maha perkasa lagi maha agung serta maha bijaksana dalam penganturan terhadap segala makhluknya. Allah Swt. telah mengatur langit dan menjadikannya seperti atap yang terpelihara dari rusak dan kehilangan keteraturan. Sebagaimana yang telah dijelaskan dalam al-Qur'an surat al-Anbiyaa' ayat 32 yang berbunyi:

وَجَعَلْنَا السَّمَاءَ سَقْفًا مَّحْفُوظًا وَهُمْ عَنْ آيَاتِهَا مُعْرِضُونَ ﴿٣٢﴾

"Dan Kami menjadikan langit itu sebagai atap yang terpelihara, sedang mereka berpaling dari segala tanda-tanda (kekuasaan Allah) yang terdapat padanya " (QS. Al-Anbiyaa'/ 21: 32)

Maksud dari terpelihara adalah bahwa segala yang ada di langit itu dijaga oleh Allah Swt. dengan peraturan dan hukum-hukum yang menyebabkan segala yang di langit dapat berjalan dengan teratur dan tertib. Allah Swt. memelihara matahari dan bintang-bintang pada peredarannya sehingga sebagiannya tidak bercampur dengan sebagian yang lain, dan sebagiannya tidak jatuh kepada sebagian yang lain, tetapi menetapkan semua pada tempat-tempatnya yang khusus dengan gaya tarik. Matahari, bulan dan bintang-bintang lainnya saling tarik dan

memelihara orbitnya tanpa pernah keluar dari padanya (Ahmad Musthafa Al-Maraghi (17): 43).

Allah Swt. berkuasa mengatur peredaran matahari dan bulan serta mengatur pergantian siang dan malam dengan pengaturan yang sangat rapi. Hal ini telah disebutkan Allah Swt. dalam al-Qur'an surat al-Anbiyaa' ayat 33:

وَهُوَ الَّذِي خَلَقَ اللَّيْلَ وَالنَّهَارَ وَالشَّمْسَ وَالْقَمَرَ كُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ ﴿٣٣﴾

"Dan Dialah yang telah menciptakan malam dan siang, matahari dan bulan. masing-masing dari keduanya itu beredar di dalam garis edarnya " (QS. Al-Anbiyaa'/ 21: 33)

Senada dengan ayat diatas ialah firman Allah Swt.:

اللَّهُ الَّذِي رَفَعَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا ثُمَّ أَسْتَوَىٰ عَلَى الْعَرْشِ وَسَخَّرَ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ كُلٌّ يَجْرِي لِأَجَلٍ مُّسَمًّى يُدِيرُ الْأَمْرَ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لَعَلَّكُمْ بَلِقَاءَ رَبِّكُمْ تُوقِنُونَ ﴿٢﴾

"Allah-lah yang meninggikan langit tanpa tiang (sebagaimana) yang kamu lihat, kemudian Dia bersemayam di atas 'Arasy, dan menundukkan matahari dan bulan. masing-masing beredar hingga waktu yang ditentukan. Allah mengatur urusan (makhluk-Nya), menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya), supaya kamu meyakini Pertemuan (mu) dengan Tuhanmu " (QS. Ar-Rad/ 13: 2)

Allah Swt. menundukkan matahari dan bulan, serta menjadikan keduanya taat kepada-Nya untuk memberikan manfaat kepada makhluk-Nya. Masing-masing dari keduanya berjalan pada orbitnya untuk waktu tertentu; matahari membela orbitnya selama satu tahun, dan bulan melintasi garis edarnya selama satu bulan (Ahmad Musthafa Al-Maraghi (13): 114).

Peredaran matahari, bulan dan bintang-bintang serta pergantian siang dan malam tidak pernah menyimpang dari aturan yang telah ditetapkan oleh Allah Swt., sebagaimana diisyaratkan oleh firman-Nya:

وَأَيُّ لَّهُمُ اللَّيْلُ نَسْلَخُ مِنْهُ النَّهَارَ فَإِذَا هُمْ مُظْلِمُونَ ﴿٢٧﴾ وَالشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقَرٍّ لَهَا ۚ ذَٰلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ ﴿٢٨﴾ وَالْقَمَرَ قَدَرْنَاهُ مَنَازِلَ حَتَّىٰ عَادَ كَالْعُرْجُونِ الْقَدِيمِ ﴿٢٩﴾ لَا الشَّمْسُ يَنْبَغِي لَهَا أَنْ تُدْرِكَ الْقَمَرَ وَلَا اللَّيْلُ سَابِقُ النَّهَارِ ۚ وَكُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ ﴿٣٠﴾

"Dan suatu tanda (kekuasaan Allah yang besar) bagi mereka adalah malam; Kami tanggalkan siang dari malam itu, Maka dengan serta merta mereka berada dalam kegelapan. Dan matahari berjalan ditempat peredarannya. Demikianlah ketetapan yang Maha Perkasa lagi Maha mengetahui. Dan telah Kami tetapkan bagi bulan manzilah-manzilah, sehingga (setelah Dia sampai ke manzilah yang terakhir) Kembalilah Dia sebagai bentuk tandan yang tua. Tidaklah mungkin bagi matahari mendapatkan bulan dan malampun tidak dapat mendahului siang. dan masing-masing beredar pada garis edarnya” (QS. Yâasin/ 36: 37-40)

Allah Swt. mencabut siang dari malam, lalu datanglah kegelapan dan pergilah siang. Dan matahari beredar mengelilingi poros peredarannya yang tetap sesuai dengan aturan astronominya. Matahari melakukan rotasi pada sumbunya kira-kira 200 mil per detik. Aturan yang ajaib ini merupakan ketentuan dari Allah Swt. yang maha perkasa dan maha kuasa serta yang mengendalikan makhluk-makhluknya (Ahmad Musthafa Al-Maraghi (23): 10-11).

Tidak mudah bagi matahari untuk mencapai bulan dalam kecepatan perjalanannya. Karena matahari berjalan dengan kecepatan 1 derajat sehari, sedang bulan berjalan dengan kecepatan 13 derajat sehari. Juga karena masing-masing mempunyai garis edar khusus yang keduanya tak mungkin bertabrakkan.

Kekuasaan bulan tak mungkin menempati tempat matahari begitu pula sebaliknya. Siang takkan bisa mendahului malam begitu pula sebaliknya. Karena semuanya berjalan dengan perhitungan yang teratur, takkan berubah dan berganti (Ahmad Musthafa Al-Maraghi (23): 11-12).

Matahari berjalan pada garis edarnya *sendiri*, sedang bumi berjalan mengelilingi matahari dalam setahun dan berputar pada dirinya sendiri sehari semalam. Seding bulan berjalan mengelilingi bumi setiap bulan. Dengan pemeliharaan dan tatanan perputaran ini terjadilah pergantian siang dan malam sebagai akibat revolusi bumi disekitar matahari.

Konsep pengaturan alam semesta dengan tatanan yang rapi sebagaimana telah diuraikan diatas menunjukkan keseimbangan kontrol yang dibuat oleh Allah Swt. untuk kelangsungan hidup makhluknya. Keseimbangan kontrol diatas merupakan inspirasi dari sistem kontrol yang akan dibuat oleh peneliti. Sistem kontrol dalam penelitian ini dilakukan oleh mikrokontroler sebagai pusat pengontrol yang akan mengontrol proses pengeringan secara otomatis.

Selama proses pengeringan sistem kontrol akan selalu mengontrol suhu ruang pengering agar tidak melebihi suhu ideal untuk pengeringan hasil pertanian. Disamping itu sistem kontrol juga akan mengontrol massa ideal sale pisang sehingga dihasilkan sale pisang yang sesuai tidak terlalu kering atau terlalu basah.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Dan Waktu

Perancangan dan pembuatan alat baik perangkat keras maupun perangkat lunak dilakukan pada bulan Desember 2007 sampai dengan Maret 2008 di LAB Elektronika jurusan fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang.

3.2 Alat Dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan otomatisasi proses pengeringan ini adalah:

- 1) Alat Pengering Berbentuk Kotak
- 2) Sensor Suhu LM35
- 3) Sensor Massa
- 4) IC Penguat
- 5) ADC R8C/13
- 6) Mikrokontroler Renesas R8C/13
- 7) LCD M1632
- 8) Kipas Angin (Fan)
- 9) Pemanas (Heater)
- 10) Buzzer (Alarm)
- 11) Pisang
- 12) Komponen Elektronik Pendukung

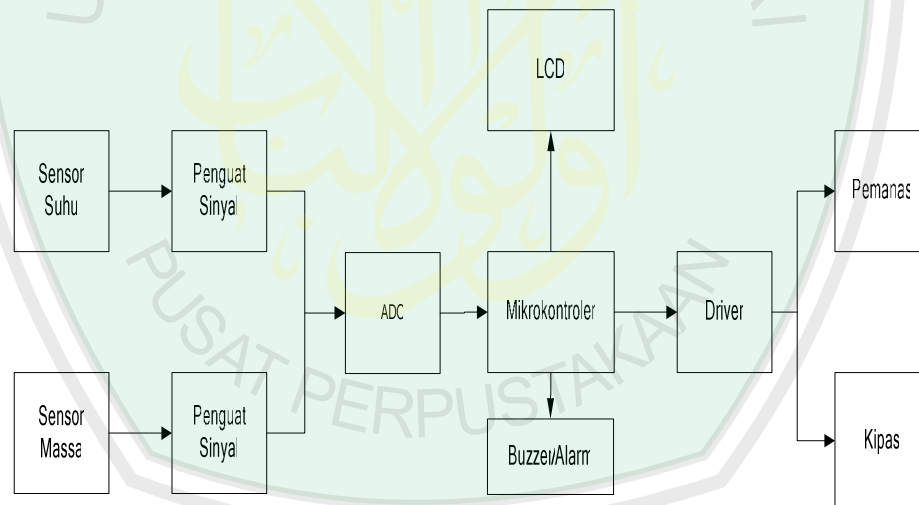
3.3 Perancangan Dan Pembuatan Alat

Perancangan dan pembuatan alat dibagi menjadi 2 tahap yaitu tahap pembuatan perangkat keras dan tahap pembuatan perangkat lunak.

3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

3.3.1.1 Perancangan Sistem Keseluruhan

Sistem yang dirancang bertujuan untuk mengontrol suhu ruang pengeringan dan mengontrol massa pisang sehingga sesuai dengan setting yang diberikan diawal proses pengeringan. Secara blok diagram alat yang dirancang ditunjukkan dalam gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

Ketika alat pengering dihidupkan, secara otomatis pemanas (heater) dihidupkan. Pemanas (heater) membuat suhu udara ruang pengering menjadi panas. Suhu udara secara perlahan naik hingga mencapai suhu ideal yang diperlukan untuk mengeringkan buah. Ketika suhu ideal telah tercapai, secara

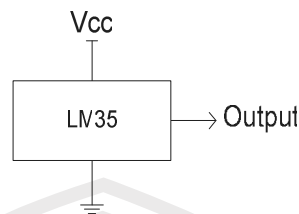
otomatis pemanas (heater) dimatikan dan kipas dihidupkan. Kipas berputar dan meniupkan udara panas memasuki ruang pengering untuk mengeringkan buah pisang yang diletakkan di rak. Selanjutnya udara akan diteruskan ke saluran pengeluaran untuk dibuang.

Apabila suatu saat sensor suhu mendeteksi suhu yang lebih tinggi dari suhu yang diinginkan, maka secara otomatis pemanas (heater) dimatikan. Sebaliknya bila sensor mendeteksi suhu yang lebih rendah dari yang diinginkan, maka pemanas (heater) secara otomatis dihidupkan.

Alat pengering akan berhenti beroperasi bila massa yang dideteksi oleh sensor massa telah mencapai set point yang diinginkan. Proses pengeringan berhenti ditandai dengan bunyi alarm.

3.3.1.2 Perancangan Sensor Suhu

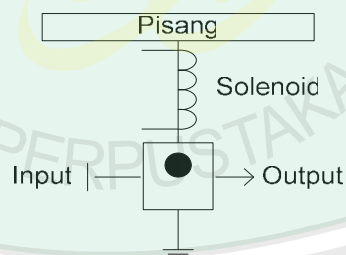
Sensor suhu yang digunakan untuk mengkonversi perubahan suhu ruang pengering menjadi sinyal listrik dalam perancangan ini adalah IC LM35. Penggunaan IC LM35 didasarkan pada kelebihan yang dimiliki IC LM35 diantaranya keluaran yang linier terhadap suhu, terkalibrasi secara langsung dalam derajat celsius, murah dan mudah didapat. Catu daya yang digunakan sensor sebesar 5V DC. Sensor diletakkan pada dinding bagian dalam ruang pengering, sehingga suhu dalam ruang pengering dapat selalu terdeteksi. Keluaran dari sensor suhu selanjutnya dihubungkan ke rangkaian penguat sinyal. Rangkaian sensor suhu dapat dilihat dalam gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Rangkaian Sensor Suhu LM35

3.3.1.3 Perancangan Sensor Massa

Sensor massa pada perancangan ini terdiri dari sebuah pegas dan potensio putar. Pegas akan dihubungkan dengan potensio putar oleh sebuah tuas. Ketika suatu beban menekan pegas, maka tuas yang terhubung dengan pegas akan memutar potensio putar sampai beban berhenti menekan pegas. Melalui potensio putar akan diperoleh nilai tegangan pisang basah dan nilai tegangan sale pisang. Tegangan yang diperoleh mewakili berat dan ringan dari pisang. Rangkaian sensor massa diperlihatkan oleh gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Rangkaian Sensor Massa
Sumber: Perancangan

Sensor massa pada perancangan ini terletak didalam kotak pengering bagian bawah. Sensor massa pada perancangan ini mampu menampung massa pisang maksimal ± 411 gram dan dikonversi menjadi tegangan sebesar 550 mV

(tegangan maksimal yang dihasilkan oleh sensor massa dengan dimensi kotak pengering 35cm, 25cm, 15cm).

Pada penelitian awal, rangkaian sensor massa menggunakan sumber tegangan 5V DC. Dengan menggunakan rangkaian sensor massa diatas, kotak pengeringan yang mempunyai dimensi 35cm, 25cm, 15cm mampu menampung 4-5 buah pisang tanpa kulit atau 8-9 belah pisang. Pada penelitian awal massa basah 8-9 belah pisang sebesar 388 gram dengan massa basah rata-rata tiap belah pisang sebesar 43 gram. Massa basah pisang 388 gram menghasilkan tegangan 530 mV.

3.3.1.4 Penentuan Batas Massa Sale Pisang

Penentuan batas massa sale pisang diperoleh melalui penelitian awal dengan cara melakukan pengeringan secara alami dengan menggunakan panas matahari. Langkah-langkah penelitian awal adalah sebagai berikut:

- 1) Membelah pisang menjadi 2 bagian
- 2) Menimbang massa pisang yang telah dibelah, dimana pisang yang bermassa sama yang akan dikeringkan (massa antara 43-44 gram)
- 3) Mengukur tegangan pada sensor massa saat pisang sebelum dikeringkan
- 4) Menjemur pisang dibawah sinar matahari selama kurang lebih 1 minggu
- 5) Mengukur massa dan tegangan pada sensor massa setelah pisang dikeringkan
- 6) Membandingkan massa sale pisang hasil pengeringan dengan massa sale pisang referensi (dalam literatur).

Pada saat penelitian, didapatkan nilai rata-rata tegangan dan massa pisang basah serta nilai rata-rata tegangan dan massa sale pisang hasil penjemuran. Nilai tegangan dan massa tersebut dapat dilihat dalam tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 3.1 Tegangan Pada Sensor Massa dan Massa Pisang Basah dan Sale Pisang Penjemuran

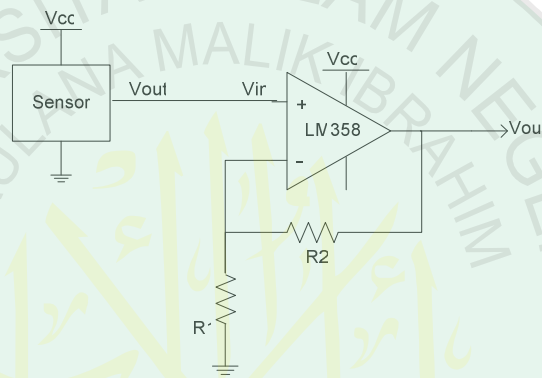
Pisang	Massa Basah (Gram)	Tegangan Pada Sensor Massa (Pisang Basah) (mV)	Massa Sale Pisang (Gram)	Tegangan Pada Sensor Massa (Sale Pisang) (mV)
1	43	530	8,5	265
2	43		8,5	
3	42		8	
4	44		8,7	
5	43		8,5	
6	43		8,5	
7	43		8,5	
8	44		8,7	
9	43		8,5	
	$\Sigma = 388$		$\Sigma = 76$	

Tabel 3.1 diatas menunjukkan bahwa massa pisang basah sebesar 388 gram oleh sensor massa dikonversi menjadi tegangan sebesar 530 mV. Sedangkan massa pisang setelah dijemur selama kurang lebih 1 minggu sebesar 76 gram. Massa sale pisang tersebut oleh sensor massa dikonversi menjadi tegangan sebesar 265 mV. Massa sale pisang yang diperoleh melalui proses penjemuran secara alami diatas, mendekati massa sale pisang referensi pada bab 2 yaitu sale pisang merupakan jenis makanan yang dibuat dari buah pisang matang yang diawetkan dengan cara pengeringan sampai tingkat kadar air tertentu, sekitar 15-18 persen (Suhardiman, 1997: 70).

Massa 76 gram merupakan 19-20 persen dari massa pisang basah sebesar 388 gram. Selisih antara massa sale pisang penjemuran dengan referensi sebesar 2 persen. Massa sale pisang hasil penjemuran yang diperoleh, dijadikan referensi batas massa sale pisang yang menentukan berakhirnya proses pengeringan.

3.3.1.5 Perancangan Rangkaian Penguat Sinyal

Tegangan keluaran dari sensor suhu dan sensor massa terlalu rendah. Oleh karena itu tegangan keluaran dari kedua sensor harus dikuatkan agar sesuai dengan masukan yang dibutuhkan oleh ADC. Penguat sinyal yang digunakan adalah IC LM358 yang merupakan penguat tak membalik. Rangkaian penguat sinyal ditunjukkan gambar 3.4 dibawah ini:



Gambar 3.4 Rangkaian Penguat Sinyal

Pada perancangan, rangkaian penguat sinyal menggunakan sumber tegangan sebesar 5V. ADC yang dipakai dalam perancangan ini adalah ADC 10 bit, tapi dapat juga menggunakan 8 bit dengan mengatur pemilihan bit pada pengesetan register. Dalam perancangan ini dipilih 8 bit sebagai bit keluaran.

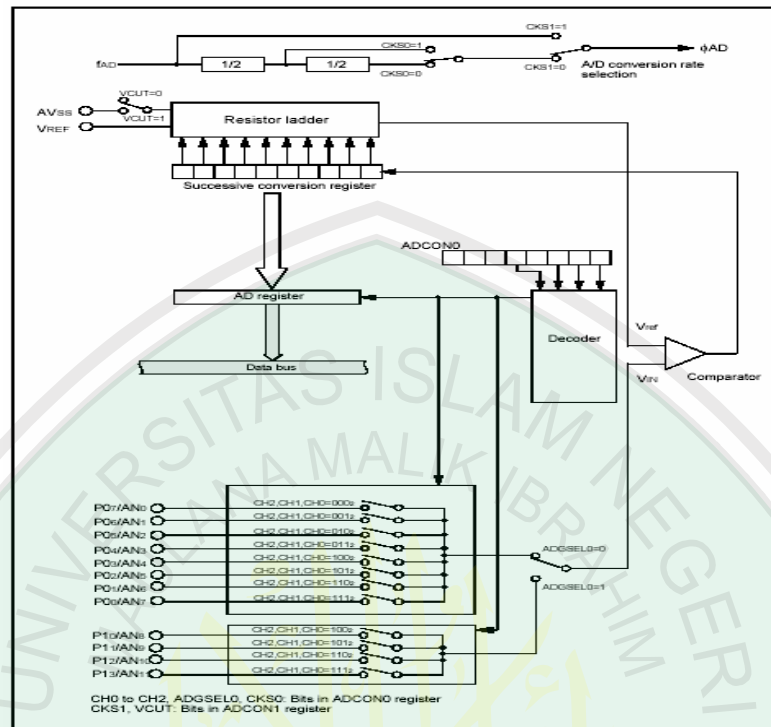
Secara teori resolusi ADC yang digunakan dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 \text{Resolusi} &= \frac{V_{ref}}{2^n - 2} \\
 &= \frac{5}{2^8 - 2} \\
 &= 19,7 \text{ mV} \\
 &\approx 20 \text{ mV}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Resolusi ADC yang direncanakan $0,2^{\circ}\text{C}$. Sehingga resolusi ADC yang digunakan $20\text{mV}/0,2^{\circ}\text{C}$. Sedangkan resolusi sensor LM35 sebesar $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. Dengan demikian diperlukan penguatan sebesar 10X.

3.3.1.6 Perancangan ADC

Dalam pengendalian suhu ruang pengering dan kontrol sensor massa dibutuhkan suatu rangkaian yang dapat mengubah sinyal analog dari keluaran sensor menjadi sinyal digital sehingga dapat diolah oleh mikrokontroler. Rangkaian pengubah sinyal analog ke digital dalam perancangan ini telah terintegrasi dalam mikrokontroler yang digunakan yaitu mikrokontroler renesas R8C/13. ADC R8C/13 mempunyai 12 channel masukan analog yang terdapat pada port-port mikrokontroler. ADC ini menggunakan teknik konversi pendekatan berturut-turut (*Successive Approximation*) untuk mengkonversi masukan analog 0-5V menjadi data digital. Blok diagram ADC ditunjukkan oleh gambar 3.5 dibawah ini:



Gambar 3.5 Blok Diagram ADC
Hardware Manual, 2005: 125

ADC ini telah terintegrasi dalam mikrokontroler renesas R8C/13, oleh karena itu agar ADC dapat berjalan seperti yang diharapkan diperlukan pengaturan pada register-registernya. Register-register itu adalah AD control register 0 (ADCON0) dan AD control register 1 (ADCON1). Penjelasan masing-masing register sebagai berikut:

- ADCON0

Kondisi setelah reset dan pilihan yang dapat digunakan dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Register ADCON0

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
		0					

Keterangan:

Simbol Bit	Nama Bit	Fungsi
b0=CH0	Bit pilihan pin masukan analog	Masukan analog dapat dipilih melalui kombinasi bit-bit CH2,CH1 dan CH0
b1=CH1		
b2=CH2		
b3=MD	Bit pilihan mode AD	0: mode one-shot 1: mode repeat
b4=ADGSEL0	Bit pilihan group pin masukan	0: group port P0 dipilih (AN0-AN7) 1: group port p1 dipilih (AN8-AN11)
b5=b5	Bit cadangan	Set ke"0"
b6=ADST	Flag mulai konversi AD	0: konversi AD dihentikan 1: konversi AD dijalankan
b7=CKS0	Bit pilihan frekuensi	0: $f_{AD}/4$ dipilih 1: $f_{AD}/2$ dipilih

Catatan:

1. Pilihan channel ADC dapat ditentukan oleh bit CH0-CH2 dan bit ADGSEL0 berdasarkan tabel 3.3 dibawah ini:

Tabel 3.3 Pilihan Channel ADC

CH2-CH0	ADGSEL0=0	ADGSEL0=1
000 ₂	AN ₀	Hindari pilihan ini
001 ₂	AN ₁	
010 ₂	AN ₂	
011 ₂	AN ₃	
100 ₂	AN ₄	AN ₈
101 ₂	AN ₅	AN ₉
110 ₂	AN ₆	AN ₁₀
111 ₂	AN ₇	AN ₁₁

- ADCON1

Kondisi setelah reset dan pilihan yang dapat digunakan dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut:

Tabel 3.4 Register ADCON1

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
0	0				0	0	0

Keterangan:

Simbol Bit	Nama Bit	Fungsi
b2- b0	Bit cadangan	Set ke "0"
BITS	Bit pilihan mode 8/10-bit	0: mode 8 bit 1: mode 10 bit
CKS1	Bit pilihan frekuensi	0: bit CKS0 pada register ADCON0 benar 1: f_{AD} dipilih
VCut	Bit koneksi Vref	0: Vref tidak dikoneksikan 1: Vref dikoneksikan
b6-b7	Bit cadangan	Set ke "0"

Catatan:

- 1) Pada mode repeat, bit BITS harus diset ke "0"
- 2) Frekuensi ϕ_{AD} harus 10 MHz atau kurang dari 10 MHz

- Karakteristik tegangan

ADC ini mempunyai tegangan resolusi pers (3.1) untuk 2 LSB dengan tegangan referensi (Vref) sebesar 5V sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Resolusi} &= \frac{V_{ref}}{2^n - 2} \\
 &= \frac{5}{2^8 - 2} \\
 &= 0,0197 \text{ V} \\
 &= 19,7 \text{ mV} \approx 20\text{mV}
 \end{aligned}$$

- Frekuensi clock

Pada MCU R8C/13, frekuensi ϕ_{AD} harus diatur sedemikian hingga tidak melebihi 10 MHz. Pada perancangan ini frekuensi yang dipilih adalah $f_{AD}/4$ yang artinya frekuensi yang digunakan sebesar periode clock MCU dibagi 4 atau $10\text{MHz} / 4 = 250 \text{ KHz}$.

- Waktu konversi

Frekuensi clock yang direncanakan dapat digunakan untuk mengetahui waktu konversi yang digunakan ADC dalam melakukan konversi data dari sinyal analog ke sinyal digital. Waktu konversi tersebut didapatkan dari perbandingan terbalik frekuensi.

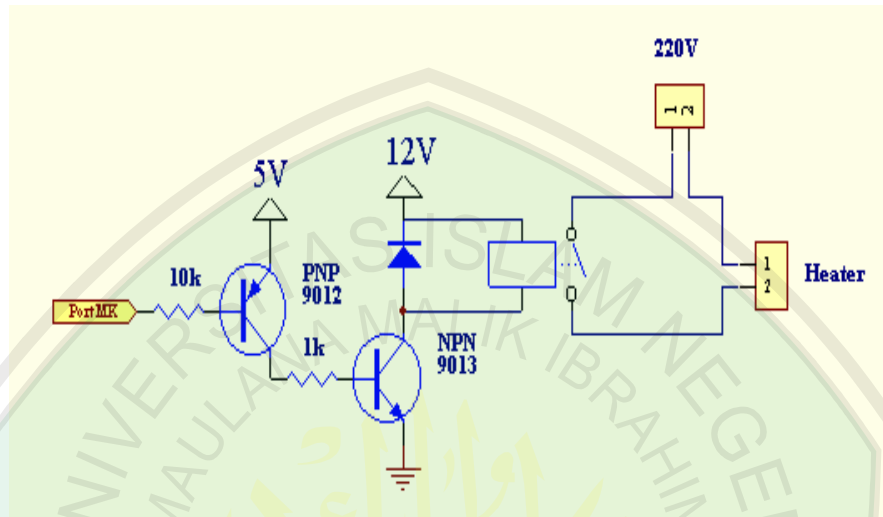
$$\begin{aligned} \text{Waktu konversi} &= \frac{1}{250\text{KHz}} \\ &= 4 \mu\text{s} \end{aligned} \quad (3.2)$$

3.3.1.7 Perancangan Driver Relay

Pada perancangan ini, beban yang harus dikontrol oleh mikrokontroler adalah pemanas (heater) dan kipas angin (fan). Untuk menggerakkan relay dibutuhkan driver. Ada 2 buah driver yang digunakan, 1 driver relay untuk menghidupkan dan mematikan pemanas (heater) dan 1 driver untuk menghidupkan dan mematikan kipas (fan).

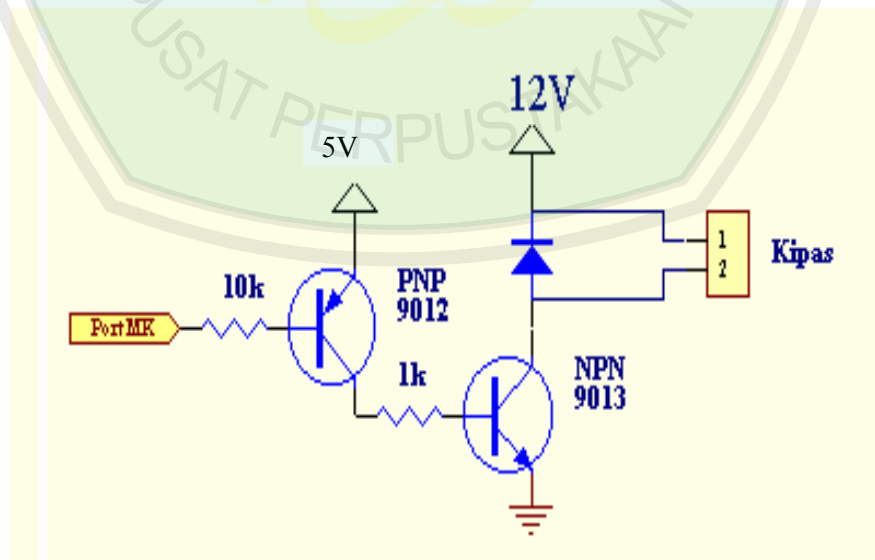
Rangkaian driver pemanas terdiri dari transistor PNP 9012 dan NPN 9013 yang berfungsi sebagai saklar, relay yang dihubungkan dengan pemanas, Serta

dioda yang dihubungkan secara paralel dengan relay. Rangkaian driver relay pemanas ditunjukkan dalam gambar 3.6 dibawah ini:



Gambar 3.6 Rangkaian Driver Relay Pemanas

Rangkaian driver kipas terdiri dari transistor PNP 9012 dan NPN 9013 yang berfungsi sebagai saklar, dan dioda yang dihubungkan secara paralel dengan kipas. Rangkaian driver kipas ditunjukkan dalam gambar 3.7 dibawah ini:



Gambar 3.7 Rangkaian Driver Kipas

Dalam perancangan ini, digunakan p3.0 untuk menggerakkan pemanas (heater) dan p3.1 untuk menggerakkan kipas (fan) melalui rangkaian driver. Relay yang digunakan pada rangkaian driver pemanas beroperasi dengan tegangan 12 V DC. Arus minimal yang diperlukan untuk mengaktifkan relay adalah 80mA (berdasarkan pengukuran) dengan resistor sebesar 150 Ω . Tegangan mikrokontroler yang digunakan sebesar 5 V, dengan arus yang dapat diserap sebesar 10mA. Sehingga nilai I_{b1} (arus basis transistor PNP 9012) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} I_{b1} &= \frac{V - V_{eb(sat)}}{R} \\ &= \frac{5 - 0,7}{10} \\ &= 0,43 \text{ mA} \end{aligned}$$

Nilai I_{b1} yang diperoleh dapat digunakan untuk mencari nilai I_{c1} (arus kolektor transistor PNP 9012) Dengan $H_{fe} = 60$, dapat dihitung nilai I_{c1} menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} I_{c1} &= I_{b1} \times H_{fe} \\ &= 0,43 \times 60 \\ &= 25,8 \text{ mA} \end{aligned}$$

Nilai I_{b2} (arus basis transistor NPN 9013) dapat dicari menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} I_{b2} &= \frac{(V - V_{ec1}) - V_{eb(sat)}}{R} \\ &= \frac{(5 - 0,6) - 0,7}{1} \end{aligned}$$

$$= \frac{4,4 - 0,7}{1}$$

$$= 3,7 \text{ mA}$$

Nilai I_{c2} (arus kolektor transistor NPN 9013) dapat dicari menggunakan persamaan:

$$I_{c2} = I_{b2} \times H_{fe}$$

$$= 3,7 \times 60$$

$$= 222 \text{ mA}$$

Dari uraian diatas dapat diketahui bahwa mikrokontroler menyediakan arus sebesar 10 mA untuk menggerakkan relay, sedangkan untuk menggerakkan relay dibutuhkan arus sebesar 80 mA. Arus yang disediakan oleh port pada mikrokontroler tidak memenuhi besar arus yang dibutuhkan oleh relay sehingga diperlukan transistor yang merupakan penguat arus. Dengan menggunakan transistor PNP 9012 dan NPN 9013 arus 10 mA dikuatkan menjadi 222 mA yang dapat digunakan untuk menggerakkan relay dengan konsumsi arus sebesar 80 mA.

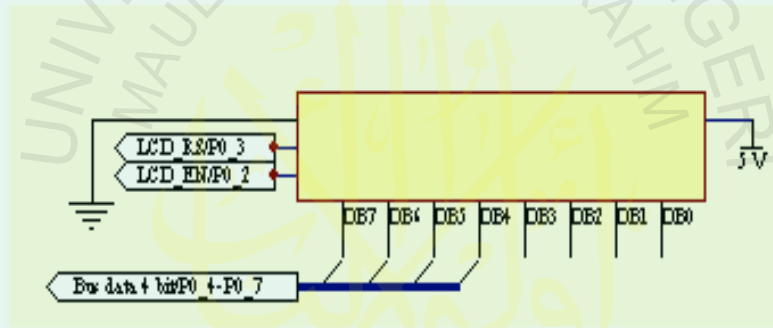
Transistor yang dipakai dalam perancangan ini adalah PNP 9012 dan NPN 9013 yang merupakan *High Speed Switching* (power op-amp) yaitu mempunyai penguatan tinggi antara 60-120.

3.3.1.8 Perancangan LCD M1632

Perancangan LCD tipe M1632 berfungsi sebagai unit penampil yang menghubungkan alamat dengan bus data, yang dengan bantuan program dapat menampilkan karakter yang diinginkan pada display dengan mengontrol bus data, pin RS dan pin Enable yang dihubungkan dengan mikrokontroler.

Sebagai unit keluaran sistem mikrokontroler, port P0_4 – P0_7 digunakan sebagai jalur data bagi modul penampil LCD (4 bit data LCD). Sedangkan sebagai sinyal-sinyal kontrol untuk modul LCD, port P0_3 sebagai jalur kontrol RS (register selection) dan P0_2 sebagai jalur EN (Enable). Pada aplikasi ini jalur kontrol R/W langsung dihubungkan ke ground karena tidak melakukan pembacaan dari register instruksi internal maupun register data internal modul LCD.

Rangkaian antar muka modul LCD ditunjukkan gambar 3.8 berikut:



Gambar 3.8 Rangkaian Antar Muka Modul LCD

Proses penulisan instruksi dan penulisan data pada LCD diperlihatkan tabel 3.5 berikut:

Tabel 3.5 Operasi Penulisan LCD

RS	R/W	Operasi
1	0	Menuliskan instruksi
0	0	Menuliskan data

Sumber: User Manual, 1987: 8

Alamat untuk menuliskan data atau karakter pada LCD dapat dilihat dalam tabel 3.6 berikut:

Tabel 3.6 Alamat LCD M1632

80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	8F
C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE	CF

Sumber: User Manual, 1987: 10

3.3.1.9 Perancangan Mikrokontroler Renesas R8C/13

Perancangan mikrokontroler R8C13 berfungsi untuk mengolah data dari ADC, mengirim data ke LCD, mengatur hidup mati pemanas (heater), mengatur hidup mati kipas (fan) serta melakukan pengontrolan terhadap sistem secara keseluruhan. Alokasi pembagian pin-pin pada masing-masing port diperlihatkan tabel 3.7 berikut:

Tabel 3.7 Pembagian Fungsi Port Mikrokontroler

Port	Fungsi
P0_2	Untuk mengontrol pin EN LCD
P0_3	Untuk mengontrol pin RS LCD
P0_4 – P0_7	Mengirim data ke LCD
P1_0	Untuk masukan ADC dari sensor suhu
P1_1	Untuk masukan ADC dari sensor massa
P3_0	Untuk menghidupkan dan mematikan pemanas
P3_1	Untuk menghidupkan dan mematikan kipas
P3_2	Untuk menghidupkan dan mematikan buzzer (alarm)

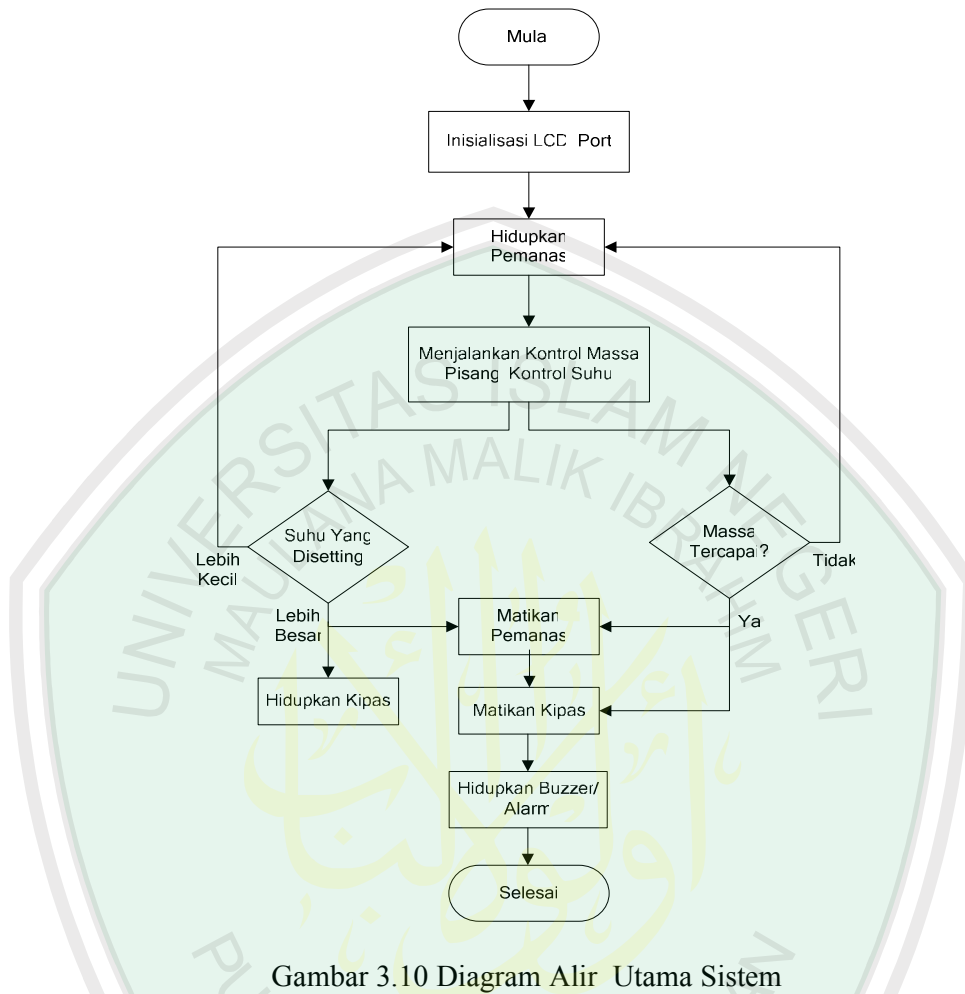
Rangkaian pembagian port pada mikrokontroler diperlihatkan gambar 3.9 dibawah ini:

3.3.2 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak (*Software*)

3.3.2.1 Diagram Alir Utama Sistem

Diagram Alir Utama Sistem menunjukkan cara kerja sistem secara umum.

Diagram alir utama sistem ditunjukkan gambar 3.10 berikut:



Gambar 3.10 Diagram Alir Utama Sistem

Diagram alir diatas menunjukkan cara kerja sistem secara umum. Pada awal proses, sistem akan menginisialisasi LCD dan inisialisasi port. Selanjutnya sistem akan menghidupkan pemanas untuk menaikkan suhu ruang pengering. Berikutnya sistem akan menjalankan kontrol suhu dan kontrol massa pisang.

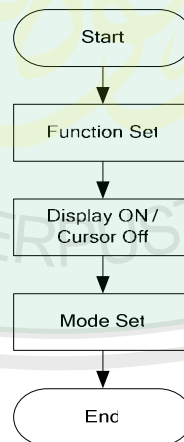
Sistem selalu mengontrol suhu ruang pengeringan agar kondisi suhu pada ruang pengeringan sesuai dengan suhu ideal untuk pengeringan buah. Apabila suhu ruang pengeringan lebih rendah dari setting yang diberikan, sistem akan menghidupkan pemanas. Sebaliknya bila suhu ruang pengeringan lebih tinggi atau

sama dengan nilai setting suhu yang diberikan maka sistem akan mematikan pemanas dan menghidupkan kipas. Selama kontrol suhu berjalan, suhu ruang terus dihitung dan ditampilkan pada layar LCD.

Kontrol massa akan selalu mengontrol massa pisang yang dikeringkan. Apabila massa pisang kurang dari set point yang diinginkan pemanas dan kipas akan tetap dihidupkan secara bergantian. Namun bila massa pisang yang dikeringkan telah mencapai set point yang diinginkan maka pemanas dan kipas dimatikan dan buzzer atau alarm dihidupkan. Berbunyinya alarm merupakan tanda berakhirnya proses pengeringan.

3.3.2.2 Inisialisasi LCD

Sebelum LCD bekerja, terlebih dahulu dilakukan inisialisasi. Diagram alir inisialisasi LCD sebagai berikut:



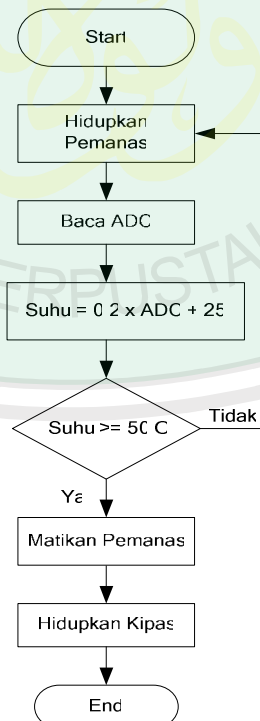
Gambar 3.11 Inisialisasi LCD

LCD disini berfungsi menampilkan data dari sensor suhu. Untuk membedakan pengiriman data ke LCD, apakah data termasuk data murni atau

sebuah instruksi, maka pin RS pada LCD yang terhubung dengan port P0_3 mikrokontroler R8C/13 diubah-ubah sesuai dengan yang diinginkan.

3.3.2.3 Pengontrol Suhu

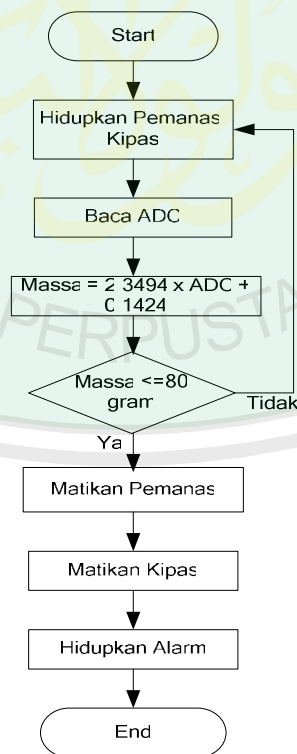
Pengontrol suhu dilakukan agar suhu ruang pengering selalu sama dengan setting yang telah diberikan. Pengontrol suhu dimulai dengan menghidupkan pemanas, dilanjutkan dengan pembacaan data suhu dari ADC yang merupakan nilai suhu real ruang pengering. Jika suhu real lebih rendah dari setting yang telah diberikan (50°C), maka pemanas terus dihidupkan. Dan jika suhu real lebih tinggi atau sama dengan setting yang diberikan (50°C), maka pemanas dimatikan dan kipas dihidupkan. Diagram alir pengontrol suhu ditunjukkan oleh gambar 3.12 berikut:



Gambar 3.12 Diagram Alir Pengontrol Suhu

3.3.2.4 Pengontrol Massa

Pengontrol massa dilakukan agar nilai massa pisang sama dengan setting massa yang telah diberikan. Pengontrol massa pisang dimulai dengan menghidupkan pemanas dan kipas secara bergantian. Selanjutnya dilakukan pembacaan data massa pisang dari ADC yang merupakan nilai massa real pisang. Jika nilai massa pisang lebih kecil dari nilai setting yang telah diberikan, maka pemanas dan kipas tetap dihidupkan secara bergantian. Namun jika nilai massa pisang telah sesuai dengan setting yang diberikan, maka pemanas dan kipas dimatikan. Sebaliknya buzzer atau alarm dihidupkan.. Hidupnya buzzer atau alarm menandakan proses pengeringan telah selesai. Diagram alir pengontrol massa ditunjukkan oleh gambar 3.13 berikut:



Gambar 3.13 Diagram Alir Pengontrol Massa

3.4 Pengujian Alat

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kinerja alat yang sudah dirancang, dapat bekerja sesuai dengan perencanaan atau belum. Pengujian dilakukan pada perangkat keras dan pengujian sistem secara keseluruhan.

3.4.1 Pengujian Perangkat Keras

Pengujian perangkat keras disini adalah melakukan pengujian tiap blok rangkaian yang meliputi:

3.4.1.1 Pengujian Sensor Suhu

3.4.1.1.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian sensor suhu adalah untuk mengetahui prosentase simpangan tegangan keluaran sensor suhu LM35.

3.4.1.1.2 Peralatan Pengujian

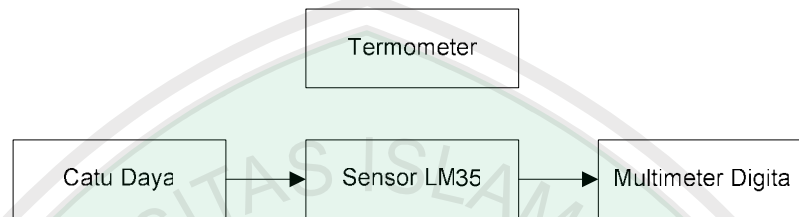
Peralatan yang digunakan dalam pengujian sensor suhu antara lain:

- Termometer
- Sensor suhu
- Catu daya
- Multimeter digital
- Bejana dan pemanas

3.4.1.1.3 Prosedur Pengujian

- Menyusun rangkaian pengujian sensor suhu seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3.14
- Menghubungkan catu daya ke sensor suhu LM35
- Memasukkan sensor suhu LM35 dan termometer ke dalam bejana

- Menaikkan suhu udara bejana dengan cara menyalakan pemanas
- Mengukur tegangan keluaran sensor dengan multimeter digital
- Mencatat hasil pengujian kedalam tabel



Gambar 3.14 Rangkaian Pengujian Sensor Suhu

3.4.1.2 Pengujian Rangkaian Penguat Sinyal

3.4.1.2.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian rangkaian penguat sinyal adalah untuk mengetahui tanggapan keluaran dari rangkaian penguat sinyal dan mengetahui prosentase simpangan tegangan keluaran hasil pengukuran dan perhitungan.

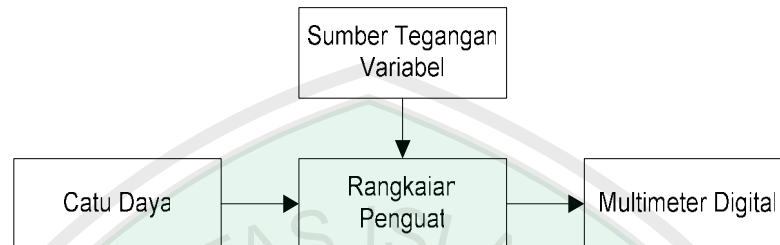
3.4.1.2.2 Peralatan Pengujian

- Catu daya
- Sumber tegangan variabel
- Rangkaian penguat sinyal
- Multimeter digital

3.4.1.2.3 Proedur Pengujian

- Menyusun rangkaian pengujian penguat sinyal seperti ditunjukkan gambar 3.15
- Menghubungkan catu daya ke rangkaian penguat
- Memberikan masukan tegangan variabel

- Mengukur tegangan keluaran rangkaian penguat
- Mencatat hasil pengukuran kedalam tabel



Gambar 3.15 Rangkaian Pengujian Penguat Sinyal

3.4.1.3 Pengujian Driver relay

3.4.1.3.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian driver relay adalah untuk mengetahui apakah driver relay berfungsi sesuai dengan perancangan.

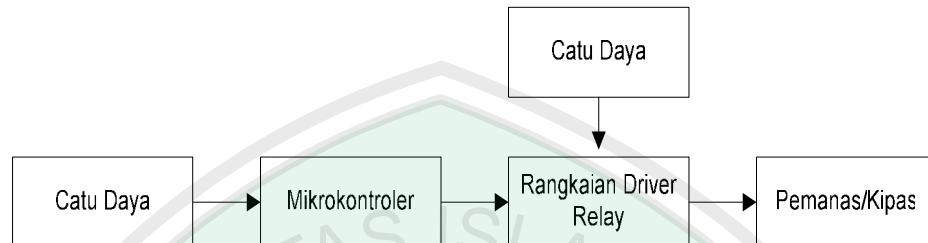
3.4.1.3.2 Peralatan Pengujian

- Catu daya
- Mikrokontroler
- Rangkaian driver relay
- Pemanas
- Kipas

3.4.1.3.3 Prosedur Pengujian

- Memprogram mikrokontroler sesuai dengan program pengujian drive relay
- Menghubungkan driver relay ke mikrokontroler yang digunakan seperti ditunjukkan gambar 3.16 dengan jalur data pada port P3_0
- Menghubungkan catu daya
- Mengamati beban berupa pemanas

- Mencatat hasil pengujian kedalam tabel
- Melakukan prosedur pengujian point 1-5 untuk rangkaian driver kipas



Gambar 3.16 Rangkaian Pengujian Driver Relay

3.4.1.4 Pengujian Rangkaian LCD

3.4.1.4.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian LCD adalah untuk mengetahui apakah rangkaian tampilan LCD dapat menampilkan data atau karakter sesuai dengan perencanaan.

3.4.1.4.2 Peralatan Pengujian

- Mikrokontroler
- Rangkaian LCD
- Catu daya

3.4.1.4.3 Prosedur Pengujian

- Memprogram mikrokontroler sesuai dengan program pengujian tampilan LCD
- Menghubungkan LCD ke mikrokontroler seperti ditunjukkan gambar 3.17 dengan jalur data pada port P0_4 – P0_7. Sedangkan pin RS pada port P0_3 dan pin Enable pada port P0_2
- Menghubungkan catu daya

- Mengamati tampilan LCD
- Mencatat hasil pengujian kedalam tabel



Gambar 3.17 Rangkaian Pengujian LCD

3.4.1.5 Pengujian ADC

3.4.1.5.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ADC adalah untuk mengetahui prosentase simpangan rata-rata keluaran ADC.

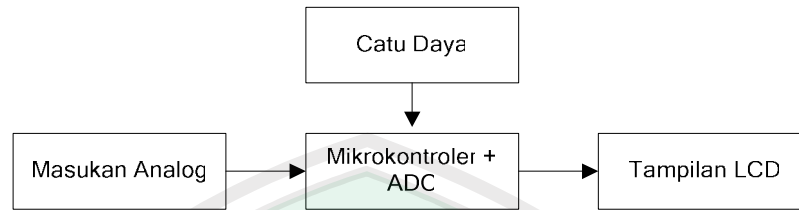
3.4.1.5.2 Peralatan Pengujian

- Sumber tegangan Variabel
- Mikrokontroler + ADC
- Catu daya
- LCD

3.4.1.5.3 Prosedur Pengujian

- Memprogram mikrokontroler sesuai dengan program pengujian ADC
- Menyusun rangkaian pengujian seperti ditunjukkan gambar 3.18
- Menghubungkan masukan tegangan variabel ke port P1_0 mikrokontroler.
- Menghubungkan keluaran ADC ke LCD untuk mengetahui keluaran nilai biner hasil konversi melalui port P0_4 – P0_7 (jalur data), pin RS pada port P0_3 dan pin Enable pada port P0_2
- Menghubungkan catu daya
- Mengamati Tampilan LCD

- Mencatat hasil pengujian kedalam tabel



Gambar 3.18 Rangkaian Pengujian ADC

3.4.2 Pengujian Sistem Keseluruhan

3.4.2.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian sistem keseluruhan adalah mengetahui apakah secara keseluruhan alat dapat bekerja dengan baik sesuai perencanaan.

3.4.2.2 Prosedur Pengujian

- Memprogram mikrokontroler sesuai dengan sistem yang telah direncanakan
- Menghubungkan LCD ke mikrokontroler dengan jalur data pada port P0_4 – P0_7, pin RS pada port P0_3 dan pin Enable pada port P0_2
- Menghubungkan masukan sensor suhu pada port P1_0 dan sensor massa pada port P1_1
- Menghubungkan driver relay pemanas pada port P3_0 dan kipas pada port P3_1
- Menghubungkan buzzer pada port P3_2
- Menghubungkan relay dengan sistem mekanis
- Mengaktifkan catu daya
- Mengamati perubahan tampilan pada LCD dan hidup atau matinya sistem mekanis yang terhubung dengan relay

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas data yang dihasilkan dari serangkaian pengujian Otomatisasi Pada Alat Pengeringan Sale Pisang Berbasis Mikrokontroler Renesas R8C/13 dari segi perangkat keras dan perangkat lunak.

4.1 Perangkat Keras

Berikut adalah data hasil pengujian yang telah dilakukan pada masing-masing blok rangkaian penyusun sistem serta analisis dari hasil yang diperoleh.

4.1.1 Hasil Dan Pembahasan Rangkaian Sensor Suhu

Berikut data yang diperoleh saat pengujian rangkaian sensor suhu LM35

Table 4.1 Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Suhu

No	Suhu Termometer (°C)	Vout (mV)		Simpangan (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
1	35	351	350	0,29
2	40	402	400	0,5
3	45	449	450	0,22
4	50	501	500	0,2
5	55	548	550	0,36
6	60	598	600	0,33
7	61	611	610	0,16
				$\Sigma = 2,06$

Tabel hasil pengujian diatas menunjukkan adanya simpangan tegangan keluaran (V_{out}) sensor LM35 yang diperoleh melalui pengukuran dan perhitungan.

Prosentase nilai simpangan (V_{out}) LM35 dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Prosentase Simpangan} = \frac{V_{out \text{ perhitungan}} - V_{out \text{ pengukuran}}}{V_{out \text{ perhitungan}}} \times 100\%$$

Jumlah prosentase simpangannya sebesar = 2,06 %

$$\begin{aligned} \text{Simpangan rata-rata} &= \frac{\text{TotalSimpangan}}{\text{JumlahPengukuran}} \\ &= 0,29 \% \end{aligned}$$

4.1.2 Hasil Dan Pembahasan Rangkaian Penguat Sinyal

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat Sinyal

No	V_{input} (mV)	V_{Output} (mV)		Simpangan (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
1	200	2010	2000	0,5
2	240	2391	2400	0,38
3	280	2793	2800	0,25
4	300	2990	3000	0,33
5	320	3205	3200	0,16
6	340	3388	3400	0,35
7	360	3591	3600	0,25
				$\Sigma = 2,22$

Tabel hasil pengujian diatas menunjukkan adanya simpangan nilai tegangan keluaran (V_{out}) dari penguat sinyal yang diperoleh melalui pengukuran

dan perhitungan. Prosentase nilai simpangan (V_{out}) tersebut dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Prosentase Simpangan} = \frac{V_{out \text{ perhitungan}} - V_{out \text{ pengukuran}}}{V_{out \text{ perhitungan}}} \times 100\%$$

Jumlah prosentase simpangannya sebesar = 2,22 %

$$\begin{aligned} \text{Simpangan rata-rata} &= \frac{\text{Total Simpangan}}{\text{Jumlah Pengukuran}} \\ &= 0,32 \% \end{aligned}$$

4.1.3 Hasil dan Pembahasan Rangkaian Driver Relay

Tabel 4.3a Hasil Pengujian Rangkaian Driver Relay Pemanas

No	Masukan	Pemanas
1	0	Hidup
2	1	Mati

Tabel 4.3b Hasil Pengujian Rangkaian Driver Kipas

No	Masukan	Kipas
1	0	Hidup
2	1	Mati

Tabel hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa rangkaian driver relay pemanas dan rangkaian driver kipas dapat bekerja dengan baik.

4.1.4 Hasil dan Pembahasan Rangkaian LCD

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Rangkaian LCD

Masukan	Tampilan LCD
“ Luluk Masruroh ”	Luluk Masruroh
“ 03540014 “	03540014
“ Mesin Pengering “	Mesin Pengering
“ Sale Pisang “	Sale Pisang

Tabel hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa rangkaian tampilan LCD dapat bekerja dengan baik, yaitu dapat menampilkan karakter/data sesuai dengan yang direncanakan.

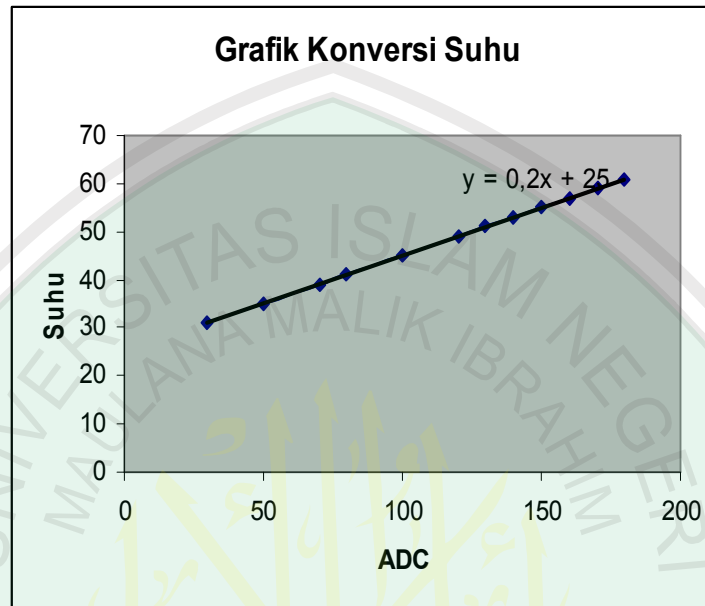
4.1.5 Hasil dan Pembahasan Rangkaian ADC

Data hasil konversi ADC untuk suhu terlihat pada tabel 4.5 dibawah ini:

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Rangkaian ADC Untuk Suhu

No	Suhu (°C)	Konversi ADC
1	31	30
2	35	50
3	39	70
4	41	80
5	45	100
6	49	120
7	51	130
8	53	140
9	55	150
10	57	160
11	59	170
12	61	180

Tabel hasil konversi diatas dapat dibuat regresi antara suhu dengan nilai konversi ADC sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Konversi Suhu

Berdasarkan grafik diatas diperoleh nilai regresi antara suhu dengan konversi ADC sebesar

$$Y = 0,2X + 25$$

Keterangan:

Y = Nilai Suhu

X = konversi ADC

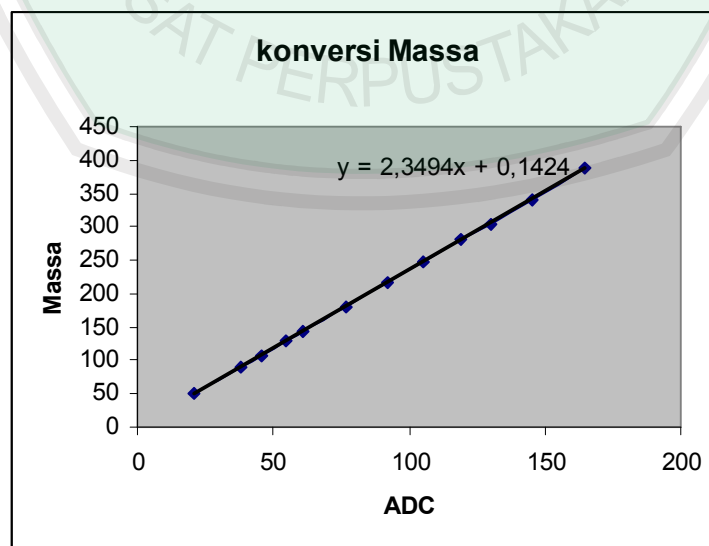
Nilai regresi antara suhu dengan ADC yang diperoleh, merupakan nilai suhu sebenarnya yang dimasukkan sebagai nilai suhu real pada program.

Data hasil konversi ADC untuk massa terlihat pada tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Rangkaian ADC Untuk Massa

No	Massa (Gram)	Konversi ADC
1	50	21
2	89	38
3	108	46
4	130	55
5	143	61
6	181	77
7	216	92
8	247	105
9	280	119
10	305	130
11	341	145
12	388	165

Tabel hasil konversi diatas dapat dibuat regresi antara massa dengan nilai konversi ADC sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik Konversi Massa

Berdasarkan grafik diatas diperoleh nilai regresi antara massa dengan konversi ADC sebesar

$$Y = 2,3494X + 0,1424$$

Keterangan:

Y = Nilai Massa

X = konversi ADC

Nilai regresi antara massa dengan ADC yang diperoleh, merupakan nilai massa sebenarnya yang dimasukkan sebagai nilai massa real pada program.

4.2 Perangkat Lunak

Pengendalian Sistem Yang Berpusat Pada Mikrokontroler Sepenuhnya Diatur oleh program utama mikrokontroler. Dalam program utama ini terdapat sub rutin-sub rutin yang mengendalikan beberapa sistem yang mendukung kinerja mikrokontroler dalam sistem ini.

Pertama kali sistem dijalankan, program akan memanggil sub rutin-sub rutin inisialisasi diantaranya: (1) inisialisasi port untuk menginisialisasi port-port yang digunakan sebagai jalur input atau output. (2) inisialisasi ADC untuk menginisialisasi jalur/port yang digunakan sebagai masukan ADC, mode konversi yang digunakan, frekuensi yang digunakan serta mode bit yang digunakan.(3) inisialisasi LCD (tampilan awal pada LCD).

Inisialisasi LCD dilakukan untuk mengatur mode operasi LCD yang mencakup pengaturan gerak kursor, arah pergeseran karakter yang ditampilkan, serta pengaturan interface data length 8 bit diubah ke 4 bit . Disamping sub rutin inisialisasi, sistem juga akan memanggil sub rutin kontrol suhu dan kontrol massa

Sub rutin kontrol suhu berfungsi mengontrol suhu ideal ruang pengeringan agar tidak melebihi suhu yang diinginkan untuk mengeringkan pisang. Sub rutin kontrol massa berfungsi mengontrol massa pisang yang dikeringkan menjadi sale pisang hingga mencapai massa yang diinginkan. Setelah melakukan proses diatas, sistem akan menampilkan informasi alat pada layar LCD. Selanjutnya LCD akan menampilkan nilai suhu ruang pengering yang terdeteksi oleh sensor suhu dan nilai massa pisang yang terdeteksi oleh sensor massa.

Melalui program yang dibuat, sistem selalu mengontrol suhu ruang pengering dan massa pisang yang dikeringkan. Jika suhu lebih besar atau sama dengan set poin yang ditentukan maka pemanas akan dimatikan, kipas akan dihidupkan. Namun bila suhu kurang dari set poin yang telah diberikan, pemanas akan dihidupkan, kipas akan dimatikan. Pada kontrol massa, jika set point massa yang ditentukan belum tercapai, maka proses pengeringan tetap berjalan. Namun bila set point massa yang ditentukan sudah tercapai maka alarm akan berbunyi yang merupakan tanda proses pengeringan telah selesai.

4.3 Kotak Pengering

kotak pengering yang digunakan dalam perancangan ini terbuat dari triplek dengan ketebalan 6mm pada bagian samping dan atas, dan 9mm pada bagian bawah. Kotak pengering dibuat dengan ukuran panjang 35cm, lebar 25cm dan tinggi 15cm. Pada bagian dalam kotak pengering terdapat sebuah rak yang terbuat dari aluminium yang digunakan sebagai tempat untuk meletakkan pisang yang akan dikeringkan.

Kotak pengering mempunyai lubang ventilasi disetiap dindingnya yang berfungsi sebagai sirkulasi udara. Kotak pengering dilengkapi dengan pemanas dan kipas. Pemanas berfungsi untuk menaikkan suhu ruang pengering yang terpasang di bagian bawah kotak pengering. Pemanas terbuat dari kawat nikelin dengan daya 200 watt, melalui pengujian awal daya ini cukup untuk menaikkan suhu dalam ruang pengering hingga 60⁰C. Sedangkan kipas terpasang dibagian belakang kotak pengering, digunakan untuk menghembuskan angin dan meratakan udara panas dalam ruang pengering.

Kotak pengering juga dilengkapi dengan sensor massa yang terdiri dari pegas dan potensio putar. Sensor massa berfungsi mengubah massa pisang menjadi tegangan yang akan mengontrol proses pengeringan.

4.4 Sistem Keseluruhan

Berdasarkan pengujian secara keseluruhan yang telah dilakukan, diketahui bahwa: sensor suhu, sensor massa, rangkaian penguat, ADC, mikrokontroler, rangkaian LCD, driver relay pemanas dan kipas serta alarm dapat berjalan sesuai dengan perancangan. Setiap bagian dalam sistem pada perancangan ini bekerja sesuai kontrol masing-masing.

BAB V

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari perancangan dan pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Batas massa pisang menjadi sale pisang ditentukan dengan melakukan penelitian awal yaitu dengan mengeringkan pisang di bawah sinar matahari selama kurang lebih 1 minggu. Sedangkan bila mengeringkan pisang menjadi sale pisang menggunakan alat pengeringan yang telah dibuat, hanya membutuhkan waktu sekitar 12 jam.
- 2) Dalam penelitian ini, IC LM35 dan potensiometer putar dapat digunakan sebagai sensor suhu dan sensor massa dan selanjutnya digunakan sebagai masukan untuk mengontrol suhu ruang pengering dan massa pisang menjadi sale.
- 3) Hasil yang diperoleh setelah melakukan perancangan dan pembuatan alat antara lain:
 - a) Sensor suhu dapat berfungsi dengan baik dengan prosentase simpangan rata-rata sebesar 0,26%.
 - b) Sensor massa dapat berfungsi dengan baik dengan prosentase simpangan rata-rata sebesar 0,32%.

- c) Pemanas dan kipas yang terhubung dengan rangkaian driver relay akan hidup bila masukan mikrokontroler berlogika 0 dan akan mati bila masukan mikrokontroler berlogika 1.
 - d) LCD dapat menampilkan data/karakter sesuai dengan program yang dirancang.
 - e) ADC suhu dapat berfungsi dengan baik dengan nilai regresi suhu sebesar $0,2 \times \text{ADC} + 25$.
 - f) ADC massa dapat berfungsi dengan baik dengan nilai regresi massa sebesar $2,3494 \times \text{ADC} + 0,1424$.
- 4) Menggunakan bahasa C dalam memprogram mikrokontroler renesas R8C/13 dapat memudahkan pemahaman alur program yang dibuat dan lebih hemat ekspresi.

4.2 Saran

- 1) Sebaiknya ditambahkan sensor lain seperti sensor kelembaban agar proses pengeringan lebih optimal.
- 2) Sebaiknya dilengkapi fasilitas untuk mengetikkan setting suhu maupun massa agar lebih mudah mengubah nilai setting suhu maupun massa.
- 3) Kontruksi kotak pengering hendaknya lebih diperbesar agar dapat mengeringkan pisang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Maraghi, Ahmad Musthafa. 1988. *Terjemah Tafsir Al-Maraghi Jilid 13*. Semarang: CV Toha Putra
- Al-Maraghi, Ahmad Musthafa. 1989. *Terjemah Tafsir Al-Maraghi Jilid 23*. Semarang: CV Toha Putra
- Al-Maraghi, Ahmad Musthafa. 1992. *Terjemah Tafsir Al-Maraghi Jilid 21*. Semarang: CV Toha Putra
- Al-Maraghi, Ahmad Musthafa. 1993. *Terjemah Tafsir Al-Maraghi Jilid 17*. Semarang: CV Toha Putra
- Budiharto, Widodo. 2004. *Interfacing Komputer dan Mikrokontroler*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo
- Budiharto, Widodo dan Firmansyah, Sigit. 2005. *Elektronika Digital dan Mikroprosesor*. Yogyakarta: Andi
- Hardware manual R8C/13
- Harten, P-Van, Setiawan. 1981. *Instalasi Listrik Arus Kuat 2*. Bandung: Anggota IKAPI
- KF Ibrahim. 1996. *Teknik Digital*. Yogyakarta: Andi
- Kusumawati, Novita. 2004. *Alat Pengering Daging Sapi Otomatis Untuk Pengawetan*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya
- Malvino, Albert Paul. 2004. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jakarta: Salemba Teknik

Malvino, Albert Paul dan Tjian May On. 1996. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jakarta: Erlangga

Renesas Promo Indonesia. 2007. *Penggunaan A/D Converter*. <http://new.indorenesas.com>. 5/12/2007

Sears, Francis Weston dan Zemansky, Mark W. 1991. *Fisika Untuk Universitas I: Mekanika, Panas dan Bunyi*. Jakarta: Bina Cipta

Seiko Instruments Inc. 1987. *User Manual LCD M1632*. Jepang

Setiyo, Yohanes. 2003. *Apllikasi Sistem Kontrol Suhu dan Pola Aliran Udara Pada Alat Pengering Tipe Kotak Untuk Pengeringan Buah Salak*. http://tumoutou.net/702_07134/Y_Setiyo.htm. 21/3/2007

Suhardiman. 1997. *Budi Daya Pisang Cavendish*. Yogyakarta: Kanisius

Sunaryono, Hendro. 2003. *Pengenalan Jenis Tanaman Buah-Buahan dan Bercocok Tanam Buah-Buahan Penting di Indonesia*. Bandung: Sinar Baru Algensindo

Ulinuha, Masy Ari. 2006. *Otomatis Mesin Pengering Tipe rak (Tray Driyer) Untuk Pengeringan Pisang Menjadi Chip Pisang*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya

Umam, Ahnaf. 2004. *Aplikasi Kontroller ON-OFF Pada Proses Pengeringan Ikan Teri Nasi*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang : Universitas Brawijaya



LAMPIRAN-LAMPIRAN

1. Rangkaian Sistem Keseluruhan

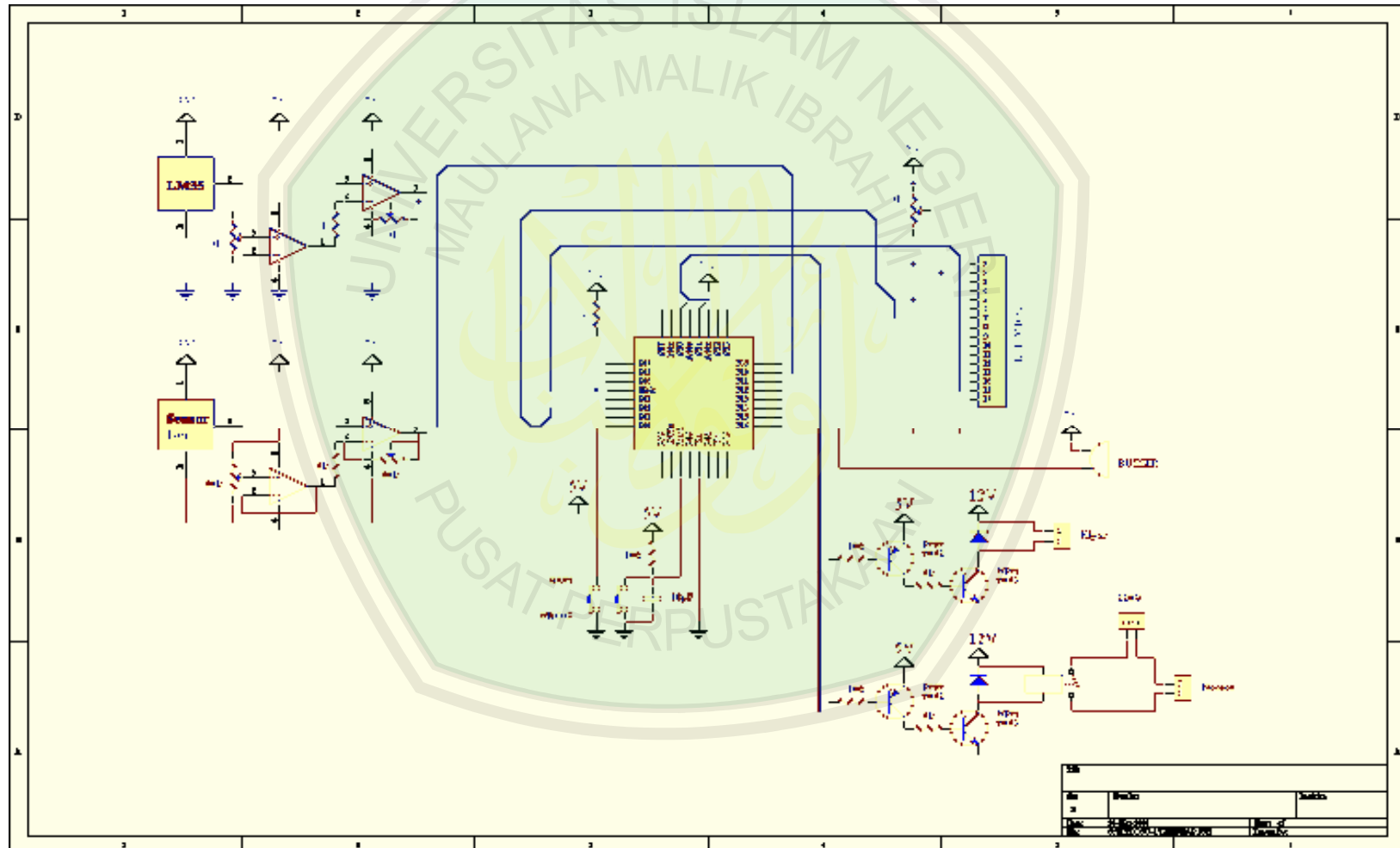
2. Listing Program

3. Foto Alat

4. Data Sheet Komponen

LAMPIRAN 1

GAMBAR RANGKAIAN KESELURUHAN



LAMPIRAN 2

LISTING PROGRAM

```

/*****
* FILE      : Alat Pengeringan Sale Pisang
*
* Luluk Masruroh
* 03540014
*
* DATE      : Maret, 2008
*****/

/*****
* Tempat deklarasi include
*****/

#include <stdio.h>
#include "sfr_r813.h"          /* Definition of the R8C/13 SFR */

#define LCD_RS p0_3
#define LCD_EN p0_2

#define LCD_ROW1 0x80
#define LCD_ROW2 0xC0

#define ON      0
#define OFF     1
#define Pemanas p3_0
#define Kipas   p3_1
#define Alarm    p3_2

char hasil, hasil1, suhu, suhu1;
unsigned int massa;

/*****
* Tempat Subrutin /deklarasi prototype subrutin
*****/

void delay(long tunggu)
{
    while (tunggu--);
}

```

```

void LCD_data(char c,char dat)
{
    LCD_RS = c;
    if((dat & 0x80)==0x80) p0_7=1; else p0_7=0;
    if((dat & 0x40)==0x40) p0_6=1; else p0_6=0;
    if((dat & 0x20)==0x20) p0_5=1; else p0_5=0;
    if((dat & 0x10)==0x10) p0_4=1; else p0_4=0;
    LCD_EN=1;
    LCD_EN=0;
    if((dat & 0x08)==0x08) p0_7=1; else p0_7=0;
    if((dat & 0x04)==0x04) p0_6=1; else p0_6=0;
    if((dat & 0x02)==0x02) p0_5=1; else p0_5=0;
    if((dat & 0x01)==0x01) p0_4=1; else p0_4=0;
    LCD_EN=1;
    LCD_EN=0;
    delay(1000);
}

```

```

void tulis_LCD(char a, char* dat)
{
    char i = 0;
    LCD_data(0,a);
    while(dat[i]!= 0)
    {
        LCD_data(1,dat[i]); i++;
    }
}

```

```

void tulis_LCD_massa(char a, unsigned int dat)
{
    char temp;
    LCD_data(0,a);
    temp = (dat/100);
    LCD_data(1,temp|0x30);
    temp = (dat%100)/10;
    LCD_data(1,temp|0x30);
    temp = (dat%10)/1;
    LCD_data(1,temp|0x30);
}

```

```

void tulis_LCD_suhu(char a, char dat)
{
    char temp;
    LCD_data(0,a);
    temp = (dat/10);
    LCD_data(1,temp|0x30);
    temp = (dat%10)/1;
    LCD_data(1,temp|0x30);
}

```

```

        LCD_data(1,',');
    }

void tulis_LCD_suhu1(char a, char dat)
{
    char temp;
    LCD_data(0,a);
    temp = (dat%10);
    LCD_data(1,temp|0x30);
}

void port_init()
{
    prc2 = 1;
    pd0 = 0xff;
    pd1 = 0x00;
    p3 = 0xff;
    pd3 = 0x0f;
}

void ADC_init()
{
    adcon1 = 0x20;
    adcon0 = 0x1c;
    adst = 1;
    delay(1000);
    hasil = ad;
    adst = 0;
    adcon0 = 0x1d;
    adst = 1;
    delay(1000);
    hasil1 = ad;
    adst = 0;
}

inline void LCD_init()
{
    delay(50000);
    LCD_data(0,0x33);
    LCD_data(0,0x32);
    LCD_data(0,0x2F);
    LCD_data(0,0x0C);
    LCD_data(0,0x06);
    LCD_data(0,0x06);
}

```

```

/*****
*   Function : main()
*   program section
*****/

void main()
{
    asm("FCLR I");
    prcr = 1;
    cm13 = 1;
    cm15 = 1;
    cm05 = 0;
    cm16 = 0;
    cm17 = 0;
    cm06 = 0;
    asm("nop");
    asm("nop");
    asm("nop");
    asm("nop");
    ocd2 = 0;
    prcr = 0;

    // inisialisasi / panggilan ke subrutin inisialisasi

    port_init();
    LCD_init();

    tulis_LCD(LCD_ROW1," Luluk Masruroh ");
    tulis_LCD(LCD_ROW2," 03540014 ");
    delay(500000);
    tulis_LCD(LCD_ROW1," Mesin Pengering ");
    tulis_LCD(LCD_ROW2," Sale Pisang ");
    delay(500000);

    tulis_LCD(LCD_ROW1," Suhu = 00,0 C ");
    tulis_LCD(LCD_ROW2," Massa = 000 g ");
}

```

```

while(1)
{

    // Taruh source code main loop Anda di sini

    if(suhu<50){Pemanas=ON;delay(500);Kipas=OFF;delay(500);Alarm=OFF;}

    if(suhu>=50){Kipas=ON;delay(1000000);Pemanas=OFF;delay(5000);Alarm=OFF;}

    if(massa<=80){Alarm=ON;delay(500);Pemanas=OFF;delay(500);Kipas=OFF;}

    ADC_init();
    suhu=(hasil)/5+25;
    tulis_LCD_suhu(0x89,suhu);
    suhu1=(hasil%5)*2;
    tulis_LCD_suhu1(0x8C,suhu1);
    delay(1000);
    massa =2.3494*hasil1+0.1424;
    tulis_LCD_massa(0xC9, massa);
    delay(1000);
    delay(100000);
}
}

```

LAMPIRAN 3

FOTO ALAT

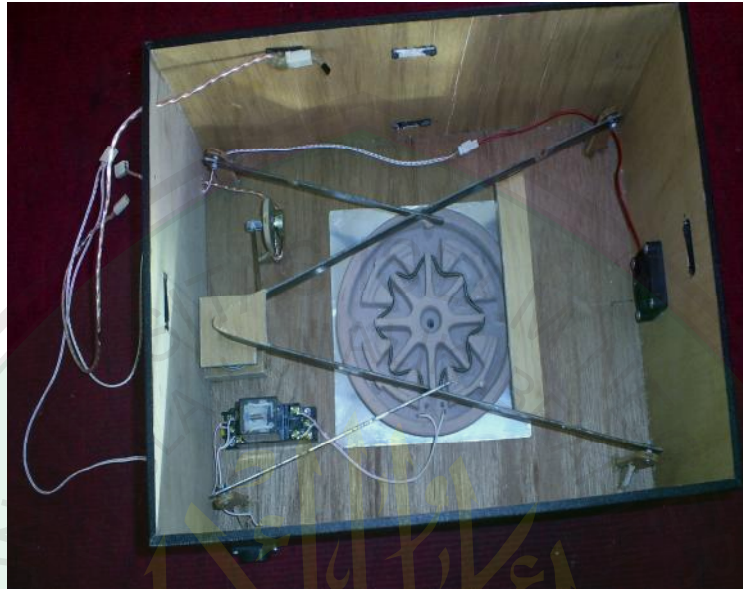


FOTO ALAT BAGIAN DALAM



FOTO ALAT BAGIAN DALAM



FOTO PENGONTROL ALAT PENDINGIN

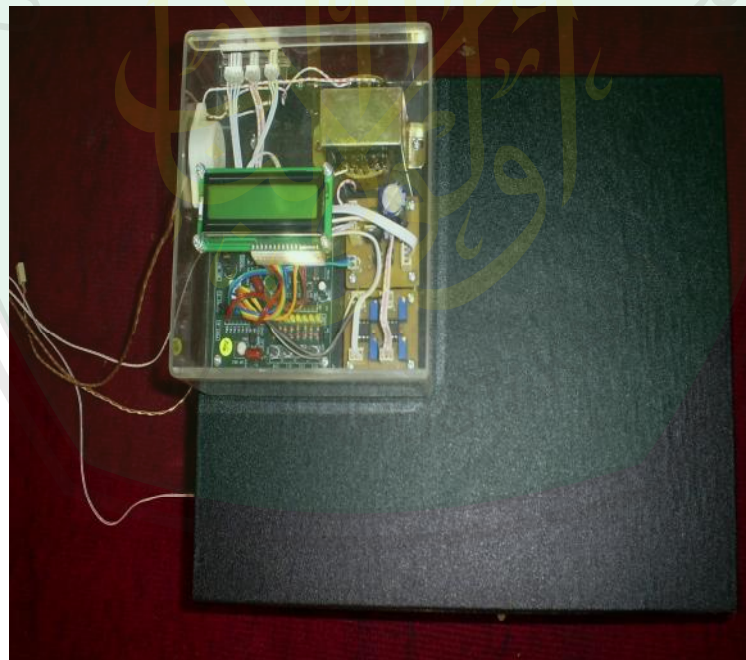


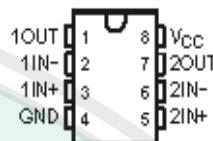
FOTO ALAT TAMPAK ATAS

LM158, LM158A, LM258, LM258A LM358, LM358A, LM2904 DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

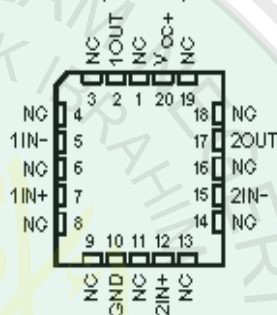
SLOS062U – JUNE 1976 – REVISED MARCH 2004

- Wide Range of Supply Voltages:
 - Single Supply ... 3 V to 30 V
(LM2904 ... 3 V to 26 V)
(LM2904V ... 3 V to 32 V) or
 - Dual Supplies
- Low Supply-Current Drain, Independent of Supply Voltage ... 0.7 mA Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground, Allowing Direct Sensing Near Ground
- Low Input Bias and Offset Parameters:
 - Input Offset Voltage ... 3 mV Typ
A Versions ... 2 mV Typ
 - Input Offset Current ... 2 nA Typ
 - Input Bias Current ... 20 nA Typ
A Versions ... 16 nA Typ
- Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage ... ± 32 V
(LM2904 ... ± 26 V)
(LM2904V ... ± 32 V)
- Open-Loop Differential Voltage Amplification ... 100 V/mV Typ
- Internal Frequency Compensation

LM158, LM158A ... JG PACKAGE
 LM258, LM258A ... D OR P PACKAGE
 LM358 ... D, DGK, P, PS, OR PW PACKAGE
 LM358A ... D, DGK, OR P PACKAGE
 LM2904 ... D, DGK, P, PS, OR PW PACKAGE
 (TOP VIEW)



LM158, LM158A ... FK PACKAGE
 (TOP VIEW)



NC – No internal connection

description/ordering information

These devices consist of two independent, high-gain, frequency-compensated operational amplifiers designed to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split supplies also is possible if the difference between the two supplies is 3 V to 30 V (3 V to 26 V for the LM2904 and 3 V to 32 V for the LM2904V), and V_{OC} is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. The low supply-current drain is independent of the magnitude of the supply voltage.

Applications include transducer amplifiers, dc amplification blocks, and all the conventional operational amplifier circuits that now can be implemented more easily in single-supply-voltage systems. For example, these devices can be operated directly from the standard 5-V supply used in digital systems and easily can provide the required interface electronics without additional ± 5 -V supplies.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655308 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated
 On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

1



**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS068J – JUNE 1976 – REVISED MARCH 2004

description/ordering information (continued)

ORDERING INFORMATION

T _A	V _{IO} max AT 25°C	MAX V _{CC}	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	7 mV	30 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM358P	LM358P
			SOIC (D)	Tube of 75	LM358D	LM358
				Reel of 2500	LM358DR	
			SOP (PS)	Reel of 2000	LM358PSR	L358
			TSSOP (PW)	Tube of 150	LM358PW	L358
				Reel of 2000	LM358PWR	
			VSSOP (DGK)	Reel of 2500	LM358DGKR	M6S
-25°C to 85°C	3 mV	30 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM358AP	LM358AP
			SOIC (D)	Tube of 75	LM358AD	LM358A
				Reel of 2500	LM358ADR	
			VSSOP (DGK)	Reel of 2500	LM358ADGKR	M6S
	5 mV	30 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM258P	LM258P
			SOIC (D)	Tube of 75	LM258D	LM258
				Reel of 2500	LM258DR	
-40°C to 125°C	7 mV	26 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM258AP	LM258AP
			SOIC (D)	Tube of 75	LM258AD	LM258A
				Reel of 2500	LM258ADR	
			SOP (PS)	Reel of 2000	LM2904PSR	L2904
				Tube of 150	LM2904PW	
			TSSOP (PW)	Reel of 2000	LM2904PWR	L2904
			VSSOP (DGK)	Reel of 2500	LM2904DGKR	MBS
	7 mV	32 V	SOIC (D)	Reel of 2500	LM2904VQDR	L2904V
			TSSOP (PW)	Reel of 2000	LM2904VQPWR	L2904V
	2 mV	32 V	SOIC (D)	Reel of 2500	LM2904AVQDR	L2904AV
			TSSOP (PW)	Reel of 2000	LM2904AVQPWR	L2904AV
-55°C to 125°C	5 mV	30 V	CDIP (JG)	Tube of 50	LM158JG	LM158JG
			LCCC (FK)	Tube of 55	LM158FK	LM158FK
	2 mV	30 V	CDIP (JG)	Tube of 50	LM158AJG	LM158AJG
			LCCC (FK)	Tube of 55	LM158AFK	LM158AFK

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

symbol (each amplifier)



**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS068J – JUNE 1976 – REVISED MARCH 2004

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)[†]

		LM158, LM158A LM258, LM258A LM358, LM358A LM2904V	LM2904	UNIT
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)		± 16 or 32	± 13 or 26	V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2)		± 32	± 26	V
Input voltage, V_I (either input)		-0.3 to 32	-0.3 to 26	V
Duration of output short circuit (one amplifier) to ground at (or below) 25°C free-air temperature ($V_{CC} \leq 15$ V) (see Note 3)		Unlimited	Unlimited	
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 4 and 5)	D package	97	97	°C/W
	DGK package	172	172	
	P package	85	85	
	PS package	95	95	
	PW package	149	149	
Package thermal impedance, θ_{JC} (see Notes 6 and 7)	FK package	5.61		°C/W
	JG package	14.5		
Operating free-air temperature range, T_A	LM158, LM158A	-55 to 125		°C
	LM258, LM258A	-25 to 85		
	LM358, LM358A	0 to 70		
	LM2904	-40 to 125	-40 to 125	
Operating virtual junction temperature, T_J		150	150	°C
Case temperature for 60 seconds	FK package	260		°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	JG package	300	300	°C
Storage temperature range, T_{stg}		-65 to 150	-65 to 150	°C

[†] Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages and V_{CC} specified for measurement of I_{OS} , are with respect to the network ground terminal.
2. Differential voltages are at $IN+$ with respect to $IN-$.
3. Short circuits from outputs to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.
4. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
5. The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51-7.
6. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JC} , and T_C . The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_C)/\theta_{JC}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
7. The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS068J – JUNE 1976 – REVISED MARCH 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITION†	T _A ‡	LM158 LM258			LM358			UNIT	
			MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX		
V _{IO}	Input offset voltage	V _{CC} = 5 V to MAX, V _{IC} = V _{ICR} (min), V _O = 1.4 V	25°C	3	5		3	7	mV	
			Full range		7			9		
α _{V_{IO}}	Average temperature coefficient of input offset voltage		Full range	7			7		μV/°C	
I _{IO}	Input offset current	V _O = 1.4 V	25°C	2	30		2	50	nA	
			Full range		100			150		
α _{I_{IO}}	Average temperature coefficient of input offset current		Full range	10			10		pA/°C	
I _{IB}	Input bias current	V _O = 1.4 V	25°C	-20	-150		-20	-250	nA	
			Full range		-300			-500		
V _{ICR}	Common-mode input voltage range	V _{CC} = 5 V to MAX	25°C	0 to V _{CC} -1.5			0 to V _{CC} -1.5		V	
			Full range	0 to V _{CC} -2			0 to V _{CC} -2			
V _{OH}	High-level output voltage	R _L ≥ 2 kΩ	25°C				V _{CC} -1.5		V	
		R _L ≥ 10 kΩ	25°C							
		V _{CC} = MAX	R _L = 2 kΩ	Full range	26			26		
			R _L ≥ 10 kΩ	Full range	27	28		27		28
V _{OL}	Low-level output voltage	R _L ≤ 10 kΩ	Full range	5	20		5	20	mV	
A _{VD}	Large-signal differential voltage amplification	V _{CC} = 15 V, V _O = 1 V to 11 V, R _L = ≥ 2 kΩ	25°C	50	100		25	100	V/mV	
			Full range	25			15			
CMRR	Common-mode rejection ratio	V _{CC} = 5 V to MAX, V _{IC} = V _{ICR} (min)	25°C	70	80		65	80	dB	
k _{SVR}	Supply-voltage rejection ratio (ΔV _{OD} /ΔV _{IO})	V _{CC} = 5 V to MAX	25°C	65	100		65	100	dB	
V _{O1} /V _{O2}	Crosstalk attenuation	f = 1 kHz to 20 kHz	25°C		120			120	dB	
I _O	Output current	V _{CC} = 15 V, V _{ID} = 1 V, V _O = 0	25°C	-20	-30		-20	-30	mA	
			Full range	-10			-10			
		V _{CC} = 15 V, V _{ID} = -1 V, V _O = 15 V	25°C	10	20		10	20		
			Full range	5			5			
		V _{ID} = -1 V, V _O = 200 mV	25°C	12	30		12	30	μA	
I _{OS}	Short-circuit output current	V _{CC} at 5 V, GND at -5 V, V _O = 0	25°C		±40	±60		±40	±60	mA
I _{CC}	Supply current (two amplifiers)	V _O = 2.5 V, No load	Full range		0.7	1.2		0.7	1.2	mA
		V _{CC} = MAX, V _O = 0.5 V, No load	Full range		1	2		1	2	

[†] All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for the LM2904 and 30 V for others.

[‡] Full range is -55°C to 125°C for LM158, -25°C to 85°C for LM258, 0°C to 70°C for LM358, and -40°C to 125°C for LM2904.

[§] All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

5

**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS068J – JUNE 1976 – REVISED MARCH 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS†		TA‡	LM2904			UNIT
					MIN	TYP§	MAX	
VIO	Input offset voltage	VCC = 5 V to MAX, VIC = VICR(min), VO = 1.4 V		25°C	3		7	mV
	Full range			10				
αVIO	Average temperature coefficient of input offset voltage			Full range	7			µV/°C
IIO	Input offset current	VO = 1.4 V	Non-V device	25°C	2		50	nA
				Full range	300			
			V-suffix device	25°C	2		50	
				Full range	150			
αIIO	Average temperature coefficient of input offset current			Full range	10			pA/°C
IIB	Input bias current	VO = 1.4 V		25°C	-20		-250	nA
				Full range	-500			
VICR	Common-mode input voltage range	VCC = 5 V to MAX		25°C	0 to VCC-1.5		V	
				Full range	0 to VCC-2			
VOH	High-level output voltage	RL ≥ 10 kΩ		25°C	VCC-1.5		V	
				Full range				
		VCC = MAX, Non-V device	RL = 2 kΩ	Full range	22			
			RL ≥ 10 kΩ	Full range	23			24
		VCC = MAX, V-suffix device	RL = 2 kΩ	Full range	26			
			RL ≥ 10 kΩ	Full range	27			28
VOL	Low-level output voltage	RL ≤ 10 kΩ		Full range	5		20	mV
AVD	Large-signal differential voltage amplification	VCC = 15 V, VO = 1 V to 11 V, RL ≥ 2 kΩ		25°C	25		100	V/mV
				Full range	15			
CMRR	Common-mode rejection ratio	VCC = 5 V to MAX, VIC = VICR(min)	Non-V device	25°C	50		80	dB
			V-suffix device	25°C	65		80	
KSVR	Supply-voltage rejection ratio (ΔVDD/ΔVIO)	VCC = 5 V to MAX		25°C	65		100	dB
VO1/VO2	Crosstalk attenuation	f = 1 kHz to 20 kHz		25°C	120			dB
IO	Output current	VCC = 15 V, VID = 1 V, VO = 0		25°C	-20		-30	mA
				Full range	-10			
		VCC = 15 V, VID = -1 V, VO = 15 V		25°C	10		20	
				Full range	5			
		VID = -1 V, VO = 200 mV	Non-V device	25°C			30	µA
			V-suffix device	25°C	12		40	
IOS	Short-circuit output current	VCC at 5 V, GND at -5 V, VO = 0		25°C	±40		±60	mA
ICC	Supply current (two amplifiers)	VO = 2.5 V, No load		Full range	0.7		1.2	mA
		VCC = MAX, VO = 0.5 V, No load		Full range	1		2	

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for the LM2904, 32 V for the LM2904V, and 30 V for others.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM158, -25°C to 85°C for LM258, 0°C to 70°C for LM358, and -40°C to 125°C for LM2904.

§ All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS068J – JUNE 1976 – REVISED MARCH 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM158A			LM258A			UNIT
			MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX	
V_{IO}	Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to } 30\text{ V},$ $V_{IC} = V_{ICR(min)},$ $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C			2	2	3	mV
			Full range			4		4	
$^{a}V_{IO}$	Average temperature coefficient of input offset voltage		Full range			7	15*	7	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO}	Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C			2	10	2	nA
			Full range			30		30	
$^{a}I_{IO}$	Average temperature coefficient of input offset current		Full range			10	200	10	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
I_{IB}	Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C			-15	-50	-15	nA
			Full range			-100		-100	
V_{ICR}	Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C			0 to $V_{CC}-1.5$		0 to $V_{CC}-1.5$	V
			Full range			0 to $V_{CC}-2$		0 to $V_{CC}-2$	
V_{OH}	High-level output voltage	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C			$V_{CC}-1.5$		$V_{CC}-1.5$	V
		$R_L = 2\text{ k}\Omega$	Full range			26		26	
		$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	Full range			27	28	27	
V_{OL}	Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range			5	20	5	mV
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V},$ $V_O = 1\text{ V to } 11\text{ V},$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C			50	100	50	V/mV
			Full range			25		25	
CMRR	Common-mode rejection ratio		25°C			70	80	70	dB
K_{SVR}	Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)		25°C			65	100	65	dB
V_{O1}/V_{O2}	Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to } 20\text{ kHz}$	25°C			120		120	dB
I_O	Output current	$V_{CC} = 15\text{ V}, V_{ID} = 1\text{ V},$ $V_O = 0$	25°C			-20	-30	-60	mA
			Full range			-10		-10	
		$V_{CC} = 15\text{ V}, V_{ID} = -1\text{ V},$ $V_O = 15$	25°C			10	20	10	μA
			Full range			5		5	
		$V_{ID} = -1\text{ V}, V_O = 200\text{ mV}$	25°C			12	30	12	μA
I_{OS}	Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$	25°C			± 40	± 60	± 40	mA
I_{CC}	Supply current (two amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V},$ No load	Full range			0.7	1.2	0.7	mA
		$V_{CC} = \text{MAX}, V_O = 0.5\text{ V},$ No load	Full range			1	2	1	

*On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for LM2904 and 30 V for others.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM158A, -25°C to 85°C for LM258A, and 0°C to 70°C for LM358A.

§ All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS068J – JUNE 1976 – REVISED MARCH 2004

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM358A			UNIT
			MIN	TYP§	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to } 30\text{ V}$, $V_{IC} = V_{ICR(min)}$, $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		2	3	mV
		Full range			5	
$\alpha_{V_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset voltage		Full range		7	20	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		2	30	nA
		Full range			75	
$\alpha_{I_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset current		Full range		10	300	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		-15	-100	nA
		Full range			-200	
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C		0 to $V_{CC}-1.5$		V
		Full range		0 to $V_{CC}-2$		
V_{OH} High-level output voltage	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C		$V_{CC}-1.5$		V
	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	Full range		26		
	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	Full range		27	28	
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range		5	20	mV
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1\text{ V to } 11\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C		25	100	V/mV
		Full range		15		
CMRR Common-mode rejection ratio		25°C		65	80	dB
kSVR Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)		25°C		65	100	dB
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to } 20\text{ kHz}$	25°C		120		dB
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = 1\text{ V}$, $V_O = 0$	25°C		-20	-30 -60	mA
		Full range		-10		
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 15\text{ V}$	25°C		10	20	
		Full range		5		
	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	25°C			30	μA
I_{OS} Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$	25°C		± 40	± 60	mA
I_{CC} Supply current (two amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load	Full range		0.7	1.2	mA
	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_O = 0.5\text{ V}$ No load	Full range		1	2	

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for LM2904 and 30 V for others.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM158A, -25°C to 85°C for LM258A, and 0°C to 70°C for LM358A.

§ All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265





December 1994

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55°C to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\text{ }\mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55°C to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40°C to $+110^\circ\text{C}$ range (-10°C with improved accuracy). The LM35 series is

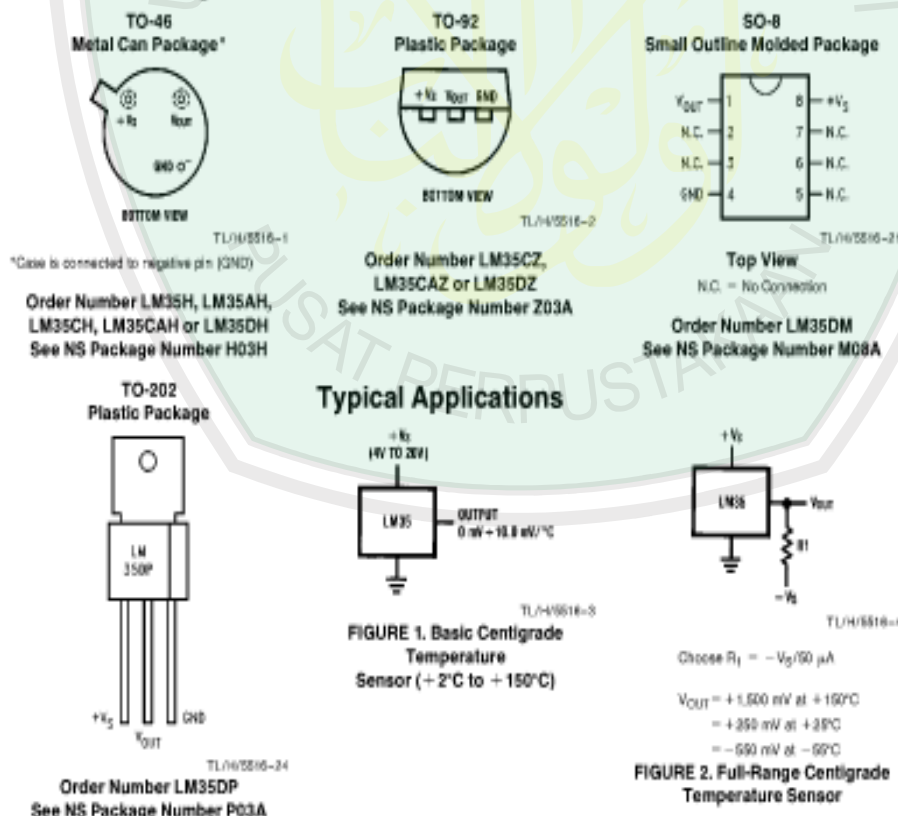
available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-202 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\text{ mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55°C to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\text{ }\mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\text{ }\Omega$ for 1 mA load

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D
Precision Centigrade Temperature Sensors

Connection Diagrams



TRU-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

© 1995 National Semiconductor Corporation TL/H/5516

RFD-836M/5/Printed in U. S. A.

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp., TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-202 Package,	-65°C to +150°C

Lead Temp.:

TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C
TO-92 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
TO-202 Package, (Soldering, 10 seconds)	+230°C

SO Package (Note 12):

Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX}	
(Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$+10.0$	$+9.9$, $+10.1$		$+10.0$		$+9.9$, $+10.1$	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+0.39$		$+0.5$	$+0.39$		$+0.5$	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$ for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5V$ dc and $I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}$ in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $40^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient, and $24^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $160^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is $220^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-202 package is $65^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6) (Continued)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = -10^{\circ}\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^{\circ}\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$+10.0$	$+9.8$, $+10.2$		$+10.0$		$+9.8$, $+10.2$	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}$, $+25^{\circ}\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}$, $+25^{\circ}\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$, $+25^{\circ}\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	$+1.5$		$+2.0$	$+1.5$		$+2.0$	$^{\circ}\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^{\circ}\text{C}$

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and 10mV/ $^{\circ}\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^{\circ}\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

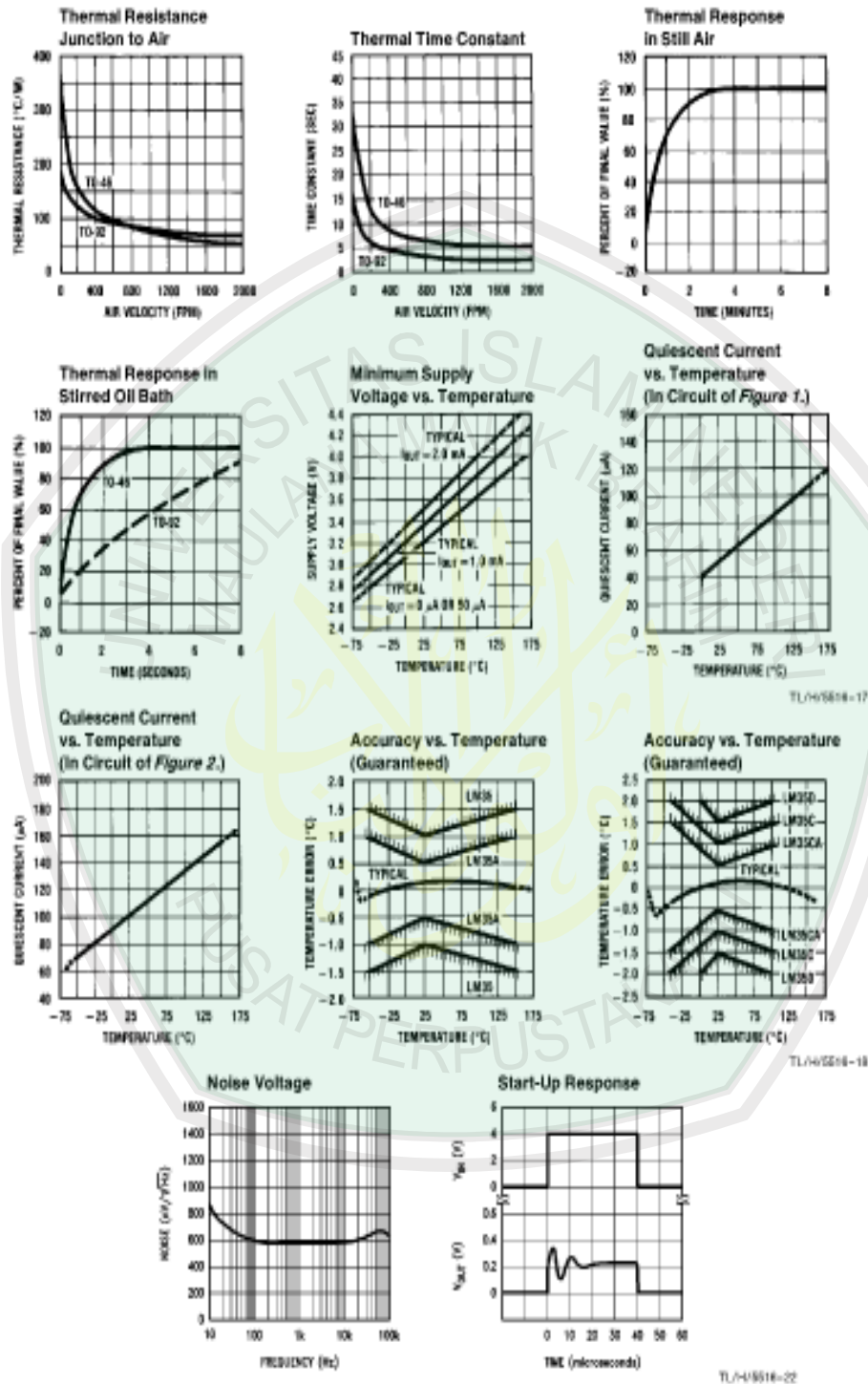
Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

Typical Performance Characteristics





R8C/13 Group

SINGLE-CHIP 16-BIT CMOS MICROCOMPUTER

1. Overview

This MCU is built using the high-performance silicon gate CMOS process using a R8C/Tiny Series CPU core and is packaged in a 32-pin plastic molded LQFP. This MCU operates using sophisticated instructions featuring a high level of instruction efficiency. With 1M bytes of address space, it is capable of executing instructions at high speed.

The data flash ROM (2 KB X 2 blocks) is embedded.

1.1 Applications

Electric household appliance, office equipment, housing equipment (sensor, security), general industrial equipment, audio, etc.

1.2 Performance Outline

Table 1.1. lists the performance outline of this MCU.

Table 1.1 Performance outline

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

1.3 Block Diagram

Figure 1.1 shows this MCU block diagram.

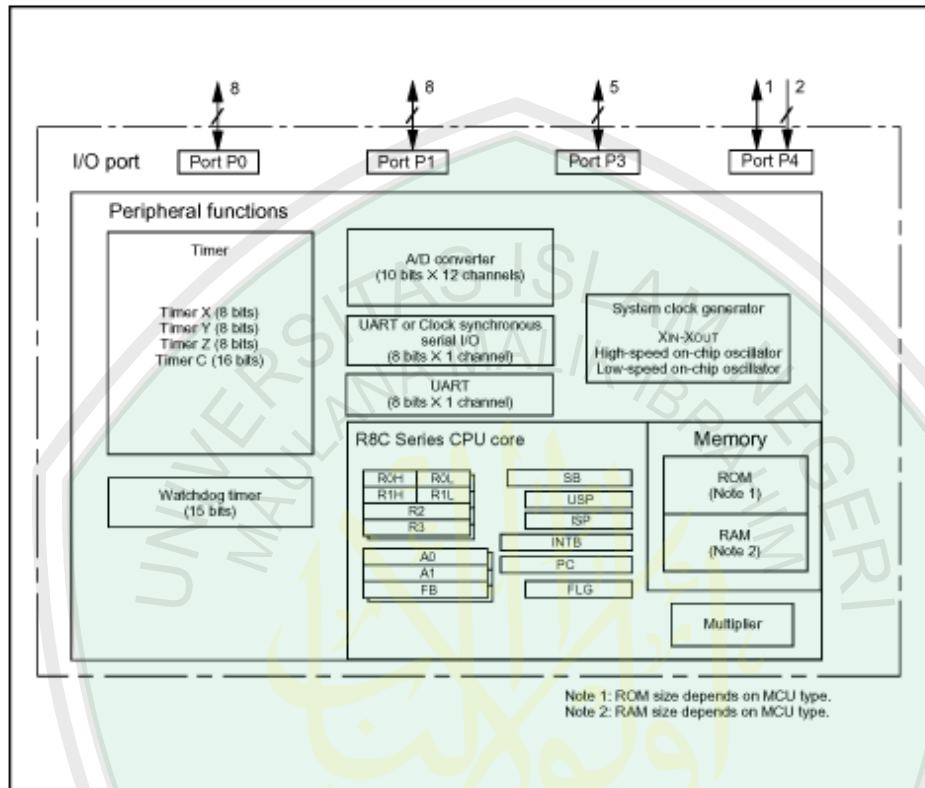


Figure 1.1 Block Diagram

1.4 Product Information

Table 1.2 lists the products.

Table 1.2 Product List

As of April 2005

Type No.	ROM capacity		RAM capacity	Package type	Remarks
	Program area	Data area			
R5F21132FP	8K bytes	2K bytes x 2	512 bytes	PLQP0032GB-A	Flash memory version
R5F21133FP	12K bytes	2K bytes x 2	768 bytes	PLQP0032GB-A	
R5F21134FP	16K bytes	2K bytes x 2	1K bytes	PLQP0032GB-A	
R5F21132DFP	8K bytes	2K bytes x 2	512 bytes	PLQP0032GB-A	D version
R5F21133DFP	12K bytes	2K bytes x 2	768 bytes	PLQP0032GB-A	
R5F21134DFP	16K bytes	2K bytes x 2	1K bytes	PLQP0032GB-A	

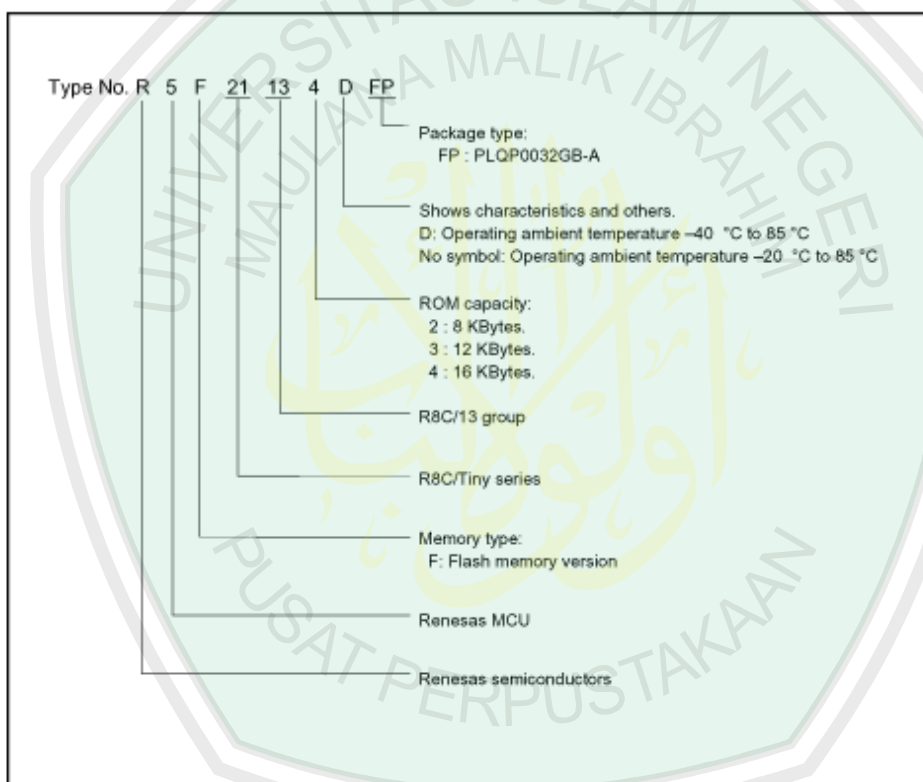


Figure 1.2 Type No., Memory Size, and Package

1.5 Pin Assignments

Figure 1.3 shows the pin configuration (top view).

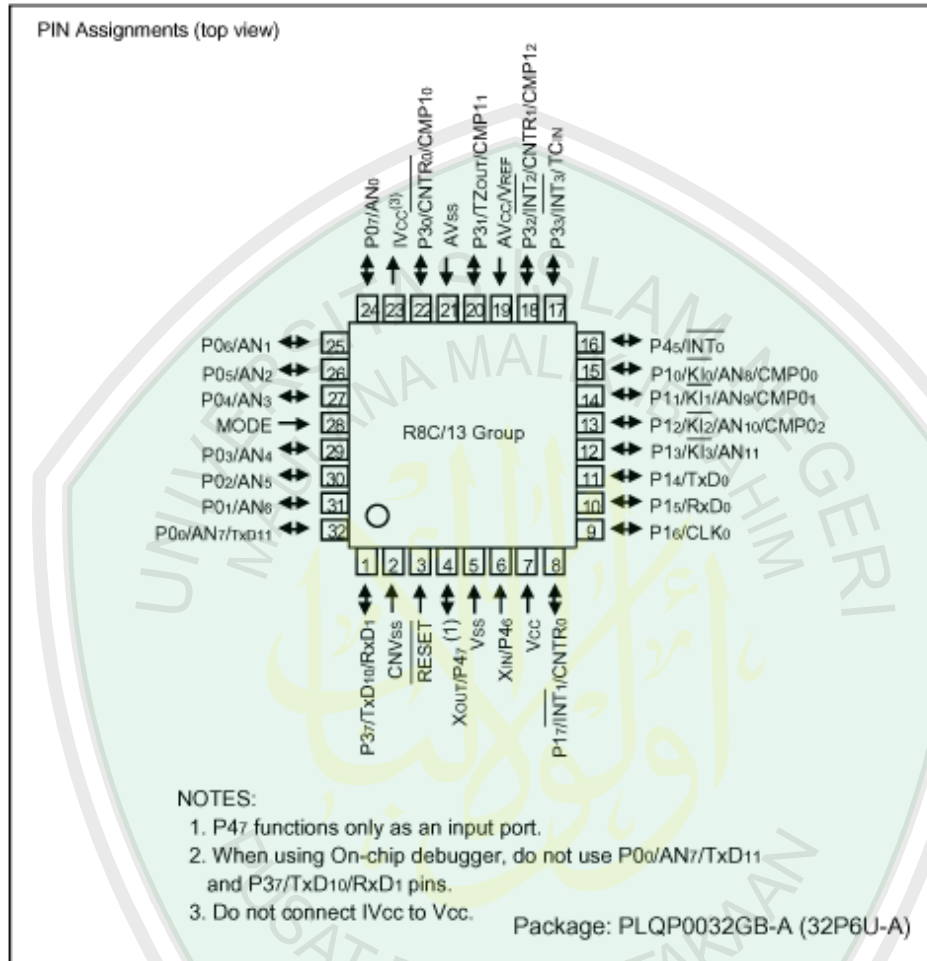


Figure 1.3 Pin Assignments (Top View)

1.6 Pin Description

Table 1.3 shows the pin description

Table 1.3 Pin description

Signal name	Pin name	I/O type	Function
Power supply input	Vcc, Vss	I	Apply 2.7 V to 5.5 V to the Vcc pin. Apply 0 V to the Vss pin.
IVcc	IVcc	O	This pin is to stabilize internal power supply. Connect this pin to Vss via a capacitor (0.1 μ F). Do not connect to Vcc.
Analog power supply input	AVcc, AVss	I	These are power supply input pins for A/D converter. Connect the AVcc pin to Vcc. Connect the AVss pin to Vss. Connect a capacitor between pins AVcc and AVss.
Reset input	RESET	I	"L" on this input resets the MCU.
CNVss	CNVss	I	Connect this pin to Vss via a resistor ⁽¹⁾ .
MODE	MODE	I	Connect this pin to Vcc via a resistor.
Main clock input	XIN	I	These pins are provided for the main clock generating circuit I/O. Connect a ceramic resonator or a crystal oscillator between the XIN and XOUT pins. To use an externally derived clock, input it to the XIN pin and leave the XOUT pin open.
Main clock output	XOUT	O	
INT interrupt input	INT0 to INT3	I	These are INT interrupt input pins.
Key input interrupt input	KI0 to KI3	I	These are key input interrupt pins.
Timer X	CNTR0	I/O	This is the timer X I/O pin.
	CNTR0	O	This is the timer X output pin.
Timer Y	CNTR1	I/O	This is the timer Y I/O pin.
Timer Z	TZOUT	O	This is the timer Z output pin.
Timer C	TCIN	I	This is the timer C input pin.
	CMP00 to CMP03, CMP10 to CMP13	O	These are the timer C output pins.
Serial interface	CLK0	I/O	This is a transfer clock I/O pin.
	RxD0, RxD1	I	These are serial data input pins.
	TxD0, TxD10, TxD11	O	These are serial data output pins.
Reference voltage input	VREF	I	This is a reference voltage input pin for A/D converter. Connect the VREF pin to Vcc.
A/D converter	AN0 to AN11	I	These are analog input pins for A/D converter.
I/O port	P00 to P07, P10 to P17, P30 to P33, P37, P45	I/O	These are 8-bit CMOS I/O ports. Each port has an I/O select direction register, allowing each pin in that port to be directed for input or output individually. Any port set to input can select whether to use a pull-up resistor or not by program. P10 to P17 also function as LED drive ports.
Input port	P46, P47	I	These are input only pins.

NOTES :

1. Refer to "19.8 Noise" for the connecting reference resistor value.

14. A/D Converter

The A/D converter consists of one 10-bit successive approximation A/D converter circuit with a capacitive coupling amplifier. The analog inputs share the pins with P00 to P07 and P10 to P13. Therefore, when using these pins, make sure the corresponding port direction bits are set to "0" (input mode).

When not using the A/D converter, set the VCUT bit to "0" (Vref unconnected), so that no current will flow from the VREF pin into the resistor ladder, helping to reduce the power consumption of the chip.

The result of A/D conversion is stored in the AD register.

Table 14.1 shows the performance of the A/D converter. Figure 14.1 shows a block diagram of the A/D converter, and Figures 14.2 and 14.3 show the A/D converter-related registers.

Table 14.1 Performance of A/D converter

Item	Performance
Method of A/D conversion	Successive approximation (capacitive coupling amplifier)
Analog input voltage ¹	0V to Vref
Operating clock ϕ_{AD} ²	AVCC = 5V ϕ_{AD} , divide-by-2 of ϕ_{AD} , divide-by-4 of ϕ_{AD} AVCC = 3V divide-by-2 of ϕ_{AD} , divide-by-4 of ϕ_{AD}
Resolution	8-bit or 10-bit (selectable)
Integral nonlinearity error	AVCC = Vref = 5V • 8-bit resolution ± 2 LSB • 10-bit resolution ± 3 LSB AVCC = Vref = 3.3 V • 8-bit resolution ± 2 LSB • 10-bit resolution ± 5 LSB
Operating modes	One-shot mode and repeat mode ³
Analog input pins	12 pins (AN0 to AN11)
A/D conversion start condition	ADST bit in ADCON0 register is set to "1" (A/D conversion starts)
Conversion speed per pin	• Without sample and hold function 8-bit resolution: 49 ϕ_{AD} cycles, 10-bit resolution: 59 ϕ_{AD} cycles • With sample and hold function 8-bit resolution: 28 ϕ_{AD} cycles, 10-bit resolution: 33 ϕ_{AD} cycles

Notes:

- Does not depend on use of sample and hold function.
- The frequency of ϕ_{AD} must be 10 MHz or less.
When AVCC is less than 4.2V, ϕ_{AD} must be $\phi_{AD}/2$ or less by dividing ϕ_{AD} .
Without sample and hold function, the ϕ_{AD} frequency should be 250 kHz or more.
With the sample and hold function, the ϕ_{AD} frequency should be 1 MHz or more.
- In repeat mode, only 8-bit mode can be used.

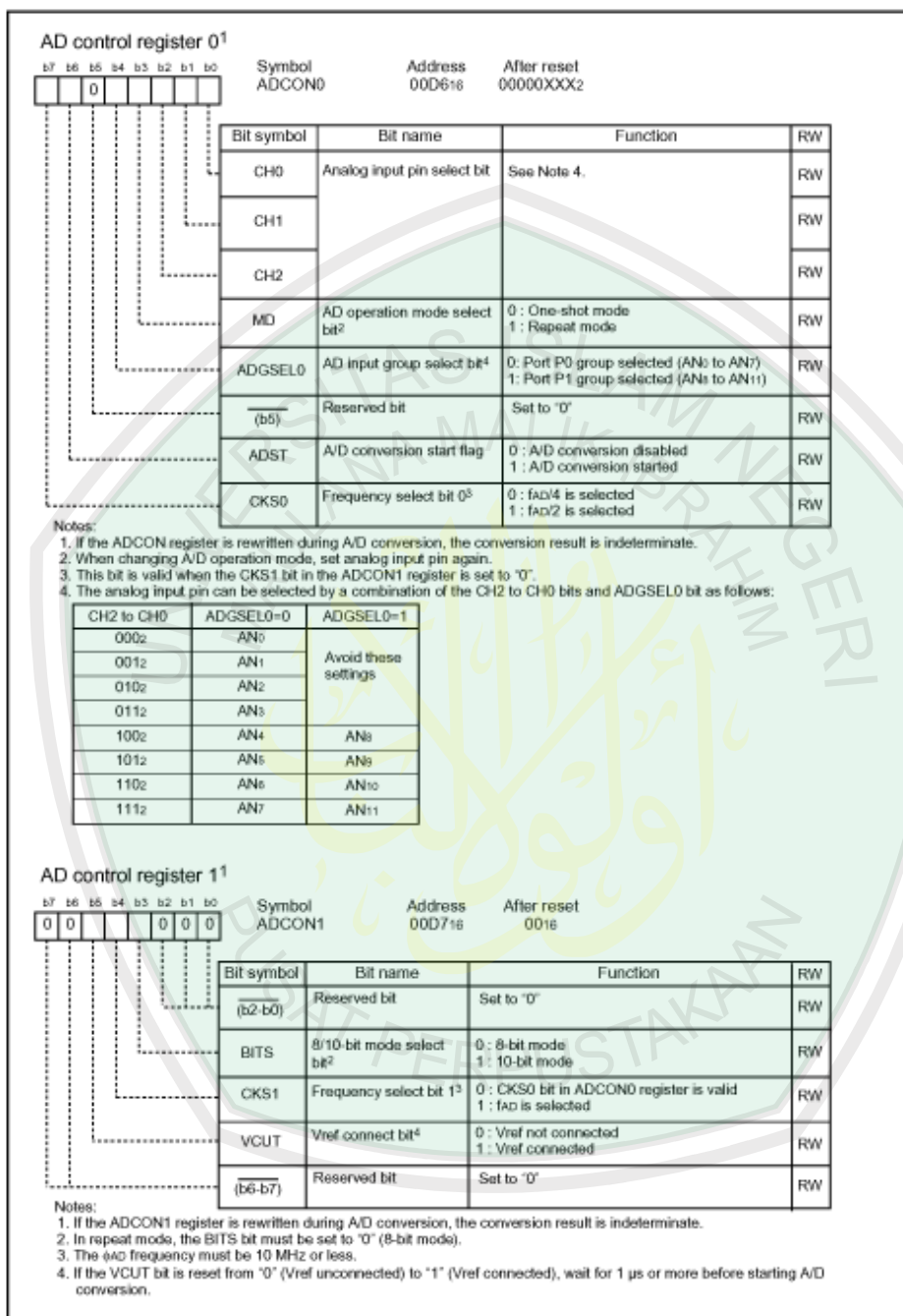


Figure 14.2 ADCON0 Register and ADCON1 Register

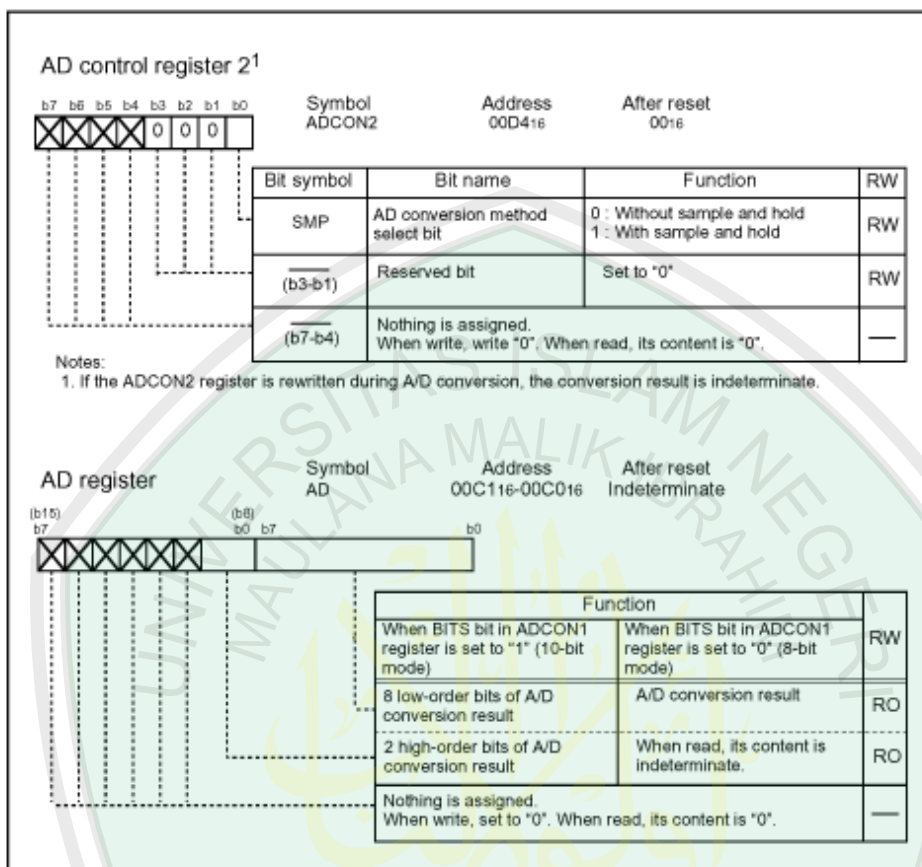


Figure 14.3. ADCON2 Register and AD Register

15. Programmable I/O Ports

15.1 Description

The programmable input/output ports (hereafter referred to as "I/O ports") consist of 22 lines P0, P1, P30 to P33, P37, and P45. Each port can be set for input or output every line by using a direction register, and can also be chosen to be or not be pulled high every 4 lines. The port P1 allows the drive capacity of its N-channel output transistor to be set as necessary. The port P1 can be used as LED drive port if the drive capacity is set to "HIGH".

P46 and P47 can be used as an input only port if the main clock oscillation circuit is not used.

Figures 15.1 to 15.5 show the I/O ports. Figure 15.6 shows the I/O pins.

Each pin functions as an I/O port or a peripheral function input/output.

For details on how to set peripheral functions, refer to each functional description in this manual. If any pin is used as a peripheral function input, set the direction bit for that pin to "0" (input mode). Any pin used as an output pin for peripheral functions is directed for output no matter how the corresponding direction bit is set.

15.1.1 Port Pi Direction Register (PDi Register, i = 0, 1, 3, 4)

Figure 15.7 shows the PDi register.

This register selects whether the I/O port is to be used for input or output. The bits in this register correspond one for one to each port.

15.1.2 Port Pi Register (Pi Register, i = 0 to 4)

Figure 15.8 shows the Pi register.

Data I/O to and from external devices are accomplished by reading and writing to the Pi register. The Pi register consists of a port latch to hold the output data and a circuit to read the pin status. For ports set for input mode, the input level of the pin can be read by reading the corresponding Pi register, and data can be written to the port latch by writing to the Pi register.

For ports set for output mode, the port latch can be read by reading the corresponding Pi register, and data can be written to the port latch by writing to the Pi register. The data written to the port latch is output from the pin. The bits in the Pi register correspond one for one to each port.

15.1.3 Pull-up Control Register 0, Pull-up Control Register 1 (PUR0 and PUR1 Registers)

Figure 15.9 shows the PUR0 and PUR1 registers.

The PUR0 and PUR1 register bits can be used to select whether or not to pull the corresponding port high in 4 bit units. The port chosen to be pulled high has a pull-up resistor connected to it when the direction bit is set for input mode.

15.1.4 Port P1 Drive Capacity Control Register (DRR Register)

Figure 15.9 shows the DRR register.

The DRR register is used to control the drive capacity of the port P1 N-channel output transistor. The bits in this register correspond one for one to each port.

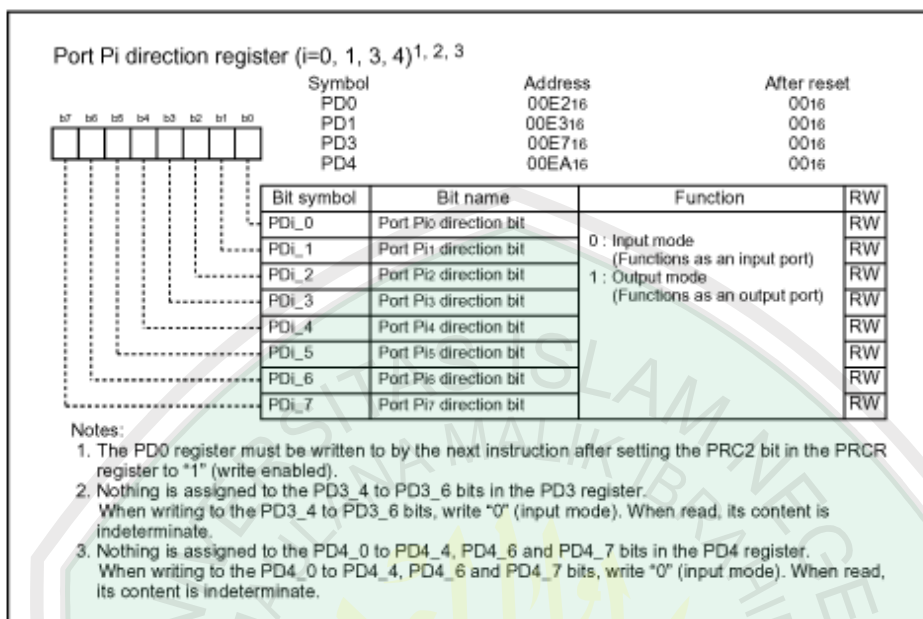


Figure 15.7 PD0 Register, PD1 Register, PD3 Register, and PD4 Register

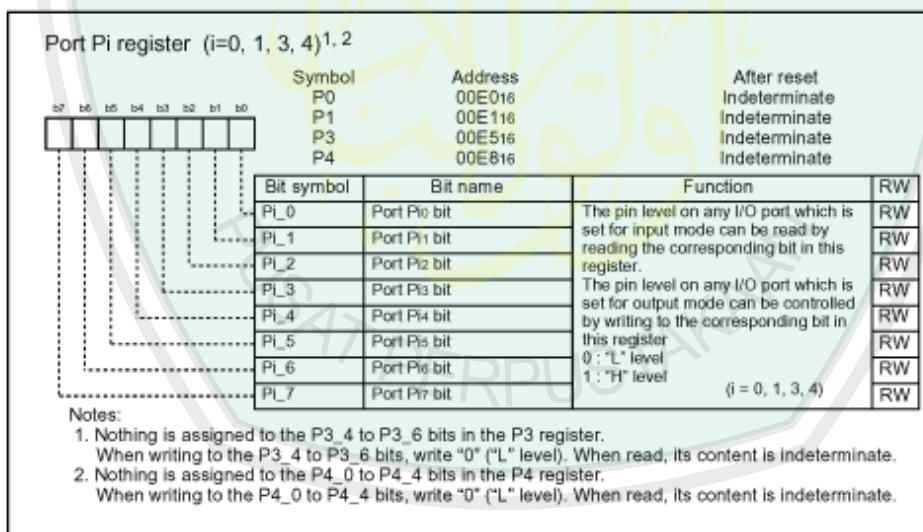


Figure 15.8 P0 Register to P4 Register

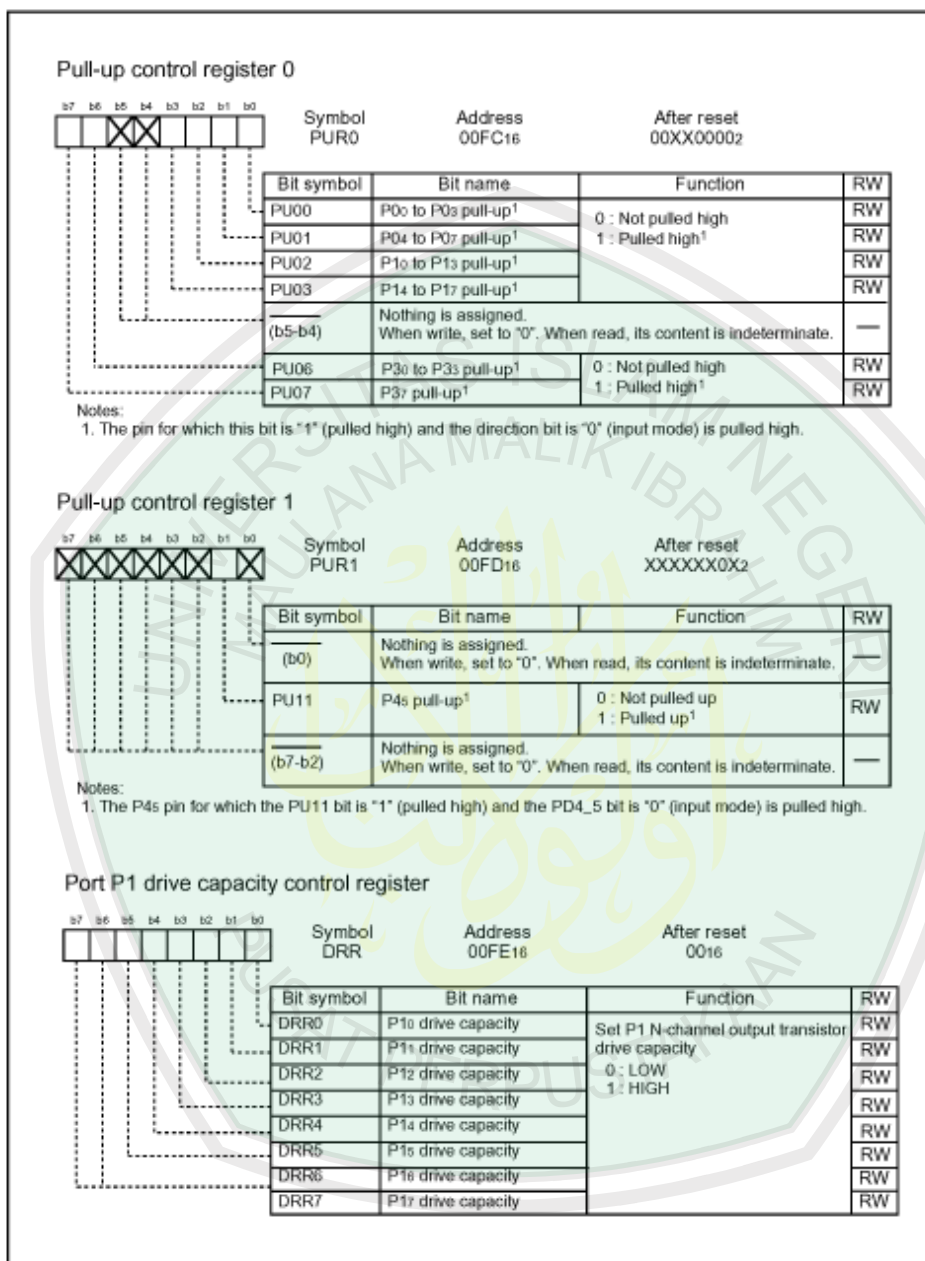


Figure 15.9 PUR0 Register, PUR1 Register, and DRR Register