PERANCANGAN ALAT PENGERING JAMUR TIRAM SEBAGAI ALTERNATIF PENJEMURAN MATAHARI

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:

ARIEF PRAKOSO

NIM. 0910633034-63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2013

PERANCANGAN ALAT PENGERING JAMUR TIRAM SEBAGAI ALTERNATIF PENJEMURAN MATAHARI

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:

ARIEF PRAKOSO

NIM. 0910633034-63

Mengetahui dan menyetujui :

Pembimbing I	Pembimbing II
Nurussa'adah, Ir., MT.	**Ponco Siwindarto, Ir., M.Eng.Sc.**
NIP. 19680706 199203 2 001	**NIP. 19590304 198903 1 001**

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN ALAT PENGERING JAMUR TIRAM SEBAGAI ALTERNATIF PENJEMURAN MATAHARI

Disusun Oleh:

ARIEF PRAKOSO

NIM. 0910633034-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

tanggal 11 Desember 2013

DOSEN PENGUJI

Nanang Sulistyanto, Ir., M.Eng	**Rahmadwati, ST., MT., Ph.D.**
NIP. 19700113 199403 1 002	**NIP. 19771103 200604 2 003**

Dr. -Ing. Onny Setyawati, ST., MT

NIP. 19740417 200003 2 007

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D

NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim.

Puji syukur kepada Tuhan YME atas segala petunjuk serta nikmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi berjudul " PERANCANGAN ALAT PENGERING JAMUR TIRAM SEBAGAI ALTERNATIF PENJEMURAN MATAHARI" ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

- M. Aziz Muslim, ST., MT. Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Nurussa'adah, Ir., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Nurussa'adah, Ir., MT. dan Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc. selaku Dosen Pembimbing 1 dan Dosen Pembimbing 2 atas segala bimbingan, ide, nasihat, arahan, motivasi, serta saran yang telah diberikan.
- Kepada seluruh Dosen Fakultas Teknik, terutama Jurusan Teknik Elektro yang telah membimbing dan menanamkan pelajaran- pelajaran yang bermakna didalam lingkungan perkuliahan.
- Kepada Keluarga besar Teknik Elektro yang membantu dan mempermudah proses administrasi dari penelitian ini.
- Kepada ibu penulis yang sangat dicintai, almarhum Ibu Yulianti yang telah mendidik dan menanamkan segala kebaikan dari awal kelahiran yang membuat penulis dapat berdiri hingga saat ini.
- Bapak Kusnan dan Ibu Dwi Sri atas pengertian didalam mendidik penulis, serta telah banyak mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.

- Kepada Dwinda Noer Meyda Sari yang telah membantu baik secara moral dan dukungan langsung yang selalu membangkitkan semangat hingga akhir penelitian ini.
- Seluruh keluarga besar penulis yang telah banyak mengalami masa-masa sulit karena penulis.
- Rekan-rekan Laboratorium Elektronika atas bantuan alat dan ilmunya.
- Teman-teman angkatan 2009, teman-teman HME, senior, WORKSHOP serta semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis untuk mencantumkan satu-persatu, terimakasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna.Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun.Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, 11 Desember 2013

Penulis

ABSTRAK

Abstrak— *J*amur tiram memiliki kandungan gizi yang sangat baik untuk tubuh kita diantaranya adalah protein, air, kalori, karbohidrat, dan sisanya berupa serat zat besi, kalsium, vitamin B1, vitamin B2, dan vitamin C. Melihat pentingnya jamur tiram untuk kesehatan tubuh manusia maka banyak olahan jamur yang kini telah tersedia dimana semua olahan tersebut ditujukan untuk mengenalkan jamur tiram kepada masyarakat. Untuk mengkonsumsi jamur tiram ini pun beragam ada yang mengolah jamur tiram ini seusai panen (masih basah) ataupun mengolah setelah jamur tiram dalam kondisi kering. Untuk mengolah jamur pada kondisi kering, jelas jamur harus dikeringkan terlebih dahulu biasanya hal ini dilakukan selain unuk olahan kripik jamur juga bertujuan untuk penyimpanan jamur yang lebih lama. Namun untuk mengeringkan jamur menggunakan matahari memakan waktu yang sangat lama dan menunggu kondisi cuaca yang terik dalam prosesnya.

Penelitian ini mengacu permasalahan diatas. Dimana cuaca dan lamanya proses dapat memperlambat proses pengeringan. Penelitian ini menggunakan sensor *Load Cell* sebagai sensor utama untuk parameter jamur sudah kering dan Sensor suhu LM35 digunakan untuk mengontrol suhu dalam ruang proses pengeringan. Untunk memanaskan jamur digunakan heater sebagai elemen pemanas. Pengujian akhir pada sensor suhu LM35 menunjukkan kerja yang baik dengan prosentase kesalahan 0.48% dan *Load Cell* setelah dikuatkan sebesar 7.33%

Kata Kunci— pengeringan, jamur tiram, load cell, lm35, sensor berat.

DAFTAR ISI

PENGANTAR ..... **iv**

ABSTRAK ..... **vi**

DAFTAR ISI ..... **vii**

DAFTAR GAMBAR ..... **x**

DAFTAR TABEL ..... **xii**

DAFTAR GRAFIK ..... **xiii**

BAB I **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan 2

1.5 Sistematika Pembahasan 2

BAB II **4**

2.1 Karakterisitik Jamur Tiram 4

2.2 Pengeringan 5

2.3 Sensor Suhu LM 35 6

2.4 Load Cell 9

2.5 AVR AT- MEGA 8 10

2.5.1 Konfigurasi Pin AVR ATMEGA 8 11

2.5.2 Memori AVR ATMEGA 8 13

2.5.3 Timer/ Counter 14

2.6 Heater 14

2.7 Blower 15

2.8 LCD 15

BAB III **18**

3.1 Metode Penelitian 18
3.2 Penentuan Spesifikasi Sistem 18
3.3 Studi Literatur 19
3.4 Perancangan Alat 19
3.4.1 Perancangan Perangkat Keras 19
3.4.2 Perancangan Perangkat Lunak 20
3.5 Pengujian Sistem 20
BAB IV 22
4.1 Penentuan spesifikasi alat 22
4.2 Perancangan Sistem 23
4.3 Prinsip Kerja Alat 24
4.4 Perancangan Perangkat Keras 24
4.4.1 Perancangan Sensor Suhu LM35 24
4.4.2 Rangkaian Penguat Tak Membalik 25
4.4.3 Rangkaian Load Cell 29
4.4.4 Rangkaian Pengua Insrumentasi INA 125 29
4.4.5 Rangkaian Driver Relay 33
4.4.6 Rangkaian Mikrokontroller ATMEGA8 35
4.5 Perancangan Perangkat Lunak 36
4.5.1 Perancangan Program Utama 37
4.5.2 Sub Program tampil LCD 38
4.5.3 Sub Program Baca Suhu 40
4.5.4 Sub Program Baca Load Cell 41
BAB V 43
5.1 Pengujian Load Cell 43
5.2 Pengujian Instrumentasi INA 125 45
5.3 Pengujian Sensor Suhu LM35 48

5.4 Pengujian Rangkaian LM35 dengan penguat Tak Membalik 51
5.5 Pengujian ADC (Analog to Digital Converter) 54
5.6 Pengujian LCD (Liquid Crysal Display).....57
5.7 Pengujian Relay 5V.....59
5.8 Pengujian Rangkaian Secara Keseluruhan 60
BAB VI.....65
6.1 Kesimpulan.....65
6.2 Saran.....65
DAFTAR PUSTAKA 66
LAMPIRAN.....67

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jamur Tiram *(Pleurotus ostreatus).* 5
Gambar 2.2 Sampel Jamur Tiram Segar dan Jamur Tiram Kering 6
Gambar 2.3 Sensor suhu LM 35 7
Gambar 2.4 Bentuk Fisis Load cell 9
Gambar 2.5 Definisi Strain. 9
Gambar 2.6 Pola garis *Metallic gauge*. 10
Gambar 2.7 Konfigurasi ATMEGA8 11
Gambar 2.8 PetaMemori ATMEGA8 14
Gambar 2.9 Elemen Pemanas Seterika sebagai *Heater* 15
Gambar 2.10 Tampilan Fisik LCD M6132 15x2 Karakter. 17
Gambar 4.1 Blok diagram system. 23
Gambar 4.2 Rangkain Sensor Suhu LM35 dan Printed Board 25
Gambar 4.3 Konfigurasi Pin LM358 26
Gambar 4.4 Rangakaian Penguat Tak Membalik 27
Gambar 4.5 Spesifikasi Input dan Output Pengkondisi Sinyal 28
Gambar 4.6 Rangkaian Sensor Load Cell. 29
Gambar 4.7 Konfigurasi Pin INA125 30
Gambar 4.8 Spesifikasi Input dan Output penguat instrumentasi 31
Gambar 4.9 Rangkaian Penguat Instrumentasi. 32
Gambar 4.10 Printed Board Blok Rangkaian Pengkondisi Sinyal 33
Gambar 4.11 Rangkaian Driver Relay. 33
Gambar 4.12 Printed Board Rangkaian Driver Relay 34
Gambar 4.13 Diagram rangkaian ATmega8 36
Gambar 4.14 Printed board rangkaian ATmega8 36
Gambar 4.15 Flowchart Program Sistem Keseluruhan 37
Gambar 4.16 Flowchart Program LCD 39
Gambar 4.17 Flowchart Baca suhu LM35. 40

Gambar 4.18 Flowchart Baca *Load Cell*.....41
Gambar 5.0 Diagram blok pengujian Sensor Berat.....44
Gambar 5.1 Foto Pengujian Sensor Load Cell.....45
Gambar 5.2 Diagram Blok Pengujian Load Cell Dengan Penguatan.....46
Gambar 5.3 Foto Pengujian Sensor Load cell dengan Penguatan.....47
Gambar 5.4 Diagram Blok Pengujian sensor suhu LM35 49
Gambar 5.5 Pengujian Sensor Suhu Lm35 49
Gambar 5.6 Diagram Pengujian Sensor Suhu LM35 dengan Penguat Tak Membalik.....52
Gambar 5.7 Pengujian Sensor Suhu LM35 dengan penguat tak membalik.....52
Gambar 5.8 Pengujian ADC 10 bit dengan 10 buah LED.....56
Gambar 5.9 Diagram Rangkaian Pengujian LCD 57
Gambar 5.10 Hasil Pengujian LCD 16x2 karakter.....59
Gambar 5.11 Diagram Pengujian Rangkaian Driver Relay.....59
Gambar 5.12 Hasil pengukuran tegangan suplai ke beban dan Arus kumparan pada relay.....60
Gambar 5.13 Diagram blok Pengujian sistem secara keseluruhan.....61
Gambar 5.14 Proses pengeringan jamur tiram.....62
Gambar 5.15 Hasil Pengeringan Menggunakan alat dan menggunakan sinar matahari.....64

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Konfigurasi PIN LCD M1632 19
Tabel 2. Konfigurasi Pin LM358.....26
Tabel 3. Keterangan Fungsi Pin INA125.....30
Tabel 4. Hasil Pengujian Load Cell.....45
Tabel 5. Data Hasil Pengujian Blok Sensor Load Cell dengan Penguatan.....47
Tabel 6. Data Hasil Pengujian Sensor Suhu LM35 50
Tabel 7. Hasil Pengujian Relay HRS4H-S-DC12V. 53
Tabel 8. Data konversi ADC dengan resolusi 10 bit 56
Tabel 9. Data lama proses pengeringan 62
Tabel 10. Proses pengeringan Menggunakan sinar matahari.....63

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1 Perbandingan Antara Tegangan dan Berat. 48
Grafik 2 Perbandingan Antara Perubahan Suhu terhadap Perubahan Tegangan.51
Grafik 3 Perbandingan Tegangan Terhadap Suhu. 59

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Seiring dengan perkembangan zaman yang semakin maju yang segalanya dapat dilakukan dengan alat elektronik, sehingga hal ini mendorong manusia untuk selalu mencari cara yang termudah untuk melakukan pekerjaan yang sulit. Salah satunya adalah inovasi yang akan diteiliti kali ini yaitu Alat Pengering Jamur Tiram. Seperti yang kita pahami jamur tiram ini memiliki kandungan gizi yang sangat baik untuk tubuh kita diantaranya adalah protein, air, kalori, karbohidrat, dan sisanya berupa serat zat besi, kalsium, vitamin B1, vitamin B2, dan vitamin C. (Eger G, Eden G, Wissig E. 1976).

Melihat pentingnya jamur tiram untuk kesehatan tubuh manusia maka banyak olahan jamur yang kini telah tersedia dimana semua olahan tersebut ditujukan untuk mengenalkan jamur tiram kepada masyarakat. Untuk mengkonsumsi jamur tiram ini pun beragam ada yang mengolah jamur tiram ini seusai panen (masih basah) ataupun mengolah setelah jamur tiram dalam kondisi kering. Untuk mengolah jamur pada kondisi kering, jelas jamur harus dikeringkan terlebih dahulu biasanya hal ini dilakukan selain untuk olahan kripik jamur juga bertujuan untuk penyimpanan jamur yang lebih lama. Untuk mengeringkan jamur dapat menggunakan dua cara, yaitu dengan cara konvensional yaitu dengan menjemur jamur tiram di bawah sinar matahari dan dengan cara mengeringkan dengan menggunakan alat pengering. Masalahnya yang sering dikeluhkan oleh para pengusaha kripik jamur adalah jika menggunakan sinar matahari, jelas kita harus menunggu musim panas tiba, karena pada saat musim hujan jamur tidak akan dapat kering secara sempurna mengingat jika matahari bersinar terik itupun membutuhkan waktu seharian agar jamur dapat kering sempurna.

Dari alasan diatas itulah kami melakukan penelitian yang berjudul “Perancangan Alat Pengering Jamur Tiram sebagai Alternatif Penjemuran Matahari”.Nilai dari suhu dan konndisi jamur akan ditampilkan dalam LCD sehingga pemantauan akan lebih mudah yaitu hanya dengan melihat dari LCD. Selain itu diharapkan alat dapat membantu para pengusaha jamur dalam menghemat waktu untuk pengeringan sehingga dapat meningkakan produktivitas dan meningkatkan keuntungan dalam waktu yag terhitung singkat.

1.2 RUMUSAN MASALAH

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

1) Bagaimana cara mengatur seluruh rangkaian pada pengering jamur tiram dengan mikrokontroler.
2) Bagaimana cara mengetahui besarnya suhu dalam ruangan pada alat pengering jamur tiram
3) Bagaimana cara menampilkan suhu dan kondisi jamur di LCD.
4) Bagaimana cara meratakan panas yang ada didalam ruangan pada alat pengering jamur tiram

1.3 BATASAN MASALAH

Mengacu pada permasalahan yang ada maka skripsi ini di batasi pada:

1) Parameter keberhasilan alat adalah sesuai dengan spesifikasi alat yang digunakan
2) Sample jamur sebesar 500 gram
3) Parameter kadar air kering dan kadar air basah menggunakan refrensi yang sudah ada.

1.4 TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat pengering jamur tiram yang nantinya dapat digunakan untuk mengeringkan jamur tiram dengan waktu yang singkat dan tanpa bantuan sinar matahari sebagai sarana pengawetan dan untuk olahan makanan dengan bahan baku jamur tiram kering

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika pembahasan

BAB II Dasar Teori

Membahas teori- teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat

BAB III Metodologi Penelitian

Berisi tentang metode oenelitian dan perencanaan alat serta pengujian.

BAB IV Perencanaan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan perealisasian alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja dan realisasi alat.

BAB V Pengujian Alat

Memuat hasil pengujian terhadap alat yang telah direalisasikan

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Berisi tentang kesimpulan berdasarkan hasil yang sudah diperoleh dari tujuan, perancangan, dan pengujian. Selain itu terdapat juga saran untuk melakukan pengembangan dan perbaikan terhadap alat.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Dalam merencanakan dan merealisasikan system pada Alat Pengering Jamur Tiram dibutuhkan pemahaman yang mendalam mengenai teori- teori penunjang yang mendukung. Pemahaman ini akan bermanfaat dalam perencanaan dan perealisasian perangkat keras dan perangkat lunak dari system. Teori teori penunjang tersebut meliputi karakteristik jamur tiram, pengeringan, sensor suhu LM 35, Load cell, LCD 16X2 karakter, Mikrokontroller ATMEGA 8, driver heater, dan driver blower.

2.1 Karakterisitik Jamur Tiram

Jamur Tiram memiliki banyak jenis, salah satunya adalah jamur tiram putih.Jenis ini merupakan jenis yang paling banyak dikonsumsi pada umumnya selain karena mudah dibudidayakan, jamur ini juga termasuk sayuran yang mudah diolah dan dikonsumsi. Jamur ini memiliki ciri spesifik: mempunyai spora berwarna putih, batang atau stipes terletak di tepian tudung jamur. Jamur tiram putih *pleurotus ostreatus* dengan lebar tudung 3 cm hingga 14 cm (Jaelani, 2008).

Jamur bersifat saprofit, yaitu penyerapan zat makanannya diserap dari limbah pertanian menurut Chang and Hayes, (1978) dalam Rahmat, E.A., (1997). Oleh karena itu, jamur tidak mempunyai akar, batang dan daun sejati dan termasuk dalam tumbuhan *Thallopyta*. Secara umum pertumbuhan jamur dibagi menjadi dua fase yaitu vegetatif dan generatif.

Jamur tiram ini, disamping mempunyai cita rasa dan tekstur yang spesifik juga mengandung asam amino yang cukup lengkap (Rismunandar, 1982 dalam Rachmat, E.A., 1997). Tubuh buah jamur *Pleurotus sp*. mengandung protein sebesar 30.4 %, lemak 2.2 %, karbohidrat 57.6 %, serat 8.7 %, dan abu 9.8 % per berat kering dengan kadar air sebesar 90.8%. Kandungan vitaminnya meliputi thiamin, riboflavin, dan niasin. Mineral yang dikandungnya antara lain: kalsium, fosfor, besi, natrium, dan kalium (Chang dan Hayes, 1978dalamRachmat, E.A., 1997). Gambar 2.1 menunjukkan karakteristik fisik jamur tiram berbentuk lebar.

Gambar 2. 1 Jamur Tiram *(Pleurotus ostreatus).*

Sumber: Jaelani, 2008:17

Daya tarik jamur tiram adalah pada warna tubuh buahnya yang bervariasi, mulai putih (sehingga disibut tiram putih), kecoklatan, keabuan, kekuning-kuningan, kemerah-merahan.Nama tiram didasarkan warna tubuhnya (Suriawiria, 2010). Pengeringan pada jamur tiram umumnya masih sangat jarang, karena kandungan kadar air dalam jamur masih terbilang tinggi, yaitu mencapai 90%. Dari beberapa penelitian pengeringan jamur tentang kadar air meyebutkan bahwa kadar air jamur sebesar 89,41% (Kala, 2009) dan 90,12% (Tulek, 2011) oleh karena itu dalam pengeringan jamur harus seragam.

2.2 Pengeringan

Untuk pengeringan jamur tiram ada beberapa parameter yang sesuai agar hasil pengeringan didapatkan hasil yang baik, diataranya suhu pada saat pengeringan dan berat jamur setelah dan sebelum proses pengeringan. Secara normal jika dikeringkan dengan sinar matahari langsung didapatkan suhu sekiar 20 – 40^{O}C, namun dalam penelitian ini digunakan suhu sebesar 65^{0}C- 69^{0}C, selama masih di bawah batas suhu yang direkomendasikan yaitu dibawah 70^{O}C (Witi, 1990) dan literaur lain dikatakan Jamur yang akan dikeringkan dengan menggunakan oven akan baikjika menggunakan suhu diatas 50°C (Syah, 1993), sehingga dapat disimpulkan suhu optimum untuk pengeringan jamur adalah diantara 50 hingga 70 derajat celcius.

Sedangkan dari parameter kadar air, Steinkraus et al. (1985) menyatakan bahwa tingkat kadar air 2% sampai 8% atau 4% dari berat total sampel merupakan hasil akhir pengeringan yang aman dari risiko adanya pertumbuhan mikroorganisme kontaminan sehingga baik untuk penyimpanan maupun untuk diolah menjadi keripik jamur.

Dalam parameter kadar air nantinya akan didaptkan berat jamur yang diinginkan agar kadar air yang didapkan sesuai dengan tingkat kadar air yang disarankan yaitu berkisar antara 2% hingga 8% atau sebesar 4% dari berat total sampel. Gambar 2.2 menunjukkan struktur fisik jamur yang masih basah dan jamur yang telah kering. Terlihat bahwa jamur yang kering jelas memiliki massa yang lebih ringan karena adanya penyusutan kadar air.

Gambar 2. 2 Sampel Jamur Tiram Segar dan Jamur Tiram Kering

Sumber: Jaelani, 2008:13

Untuk mendapatkan berat kering yang diinginkan sesuai parameter dari kadar air yang dianjurkan, perhitungan prosentase sampel bahan terlebih dahulu harus dilakukan. Dengan mengambil referensi data yang ada yaitu sebesar 4% atau 1/25 nantinya akan dikalkulasikan dengan berat sampel bahan yang akan dikerningkan. Dengan melakukan perhitungan matematika sederhana maka parameter untuk berat bahwa jamur telah kering akan didapatkan.

Sedangkan untuk daya yang dibutuhkan dalam proses pengeringan, daya sebesar 300 watt sudah cukup dalam proses pengeringan jamur tiram. Namun semakin tinggi daya yang digunakan akan mempercepat respon pemanasan dalam ruang pengeringan.

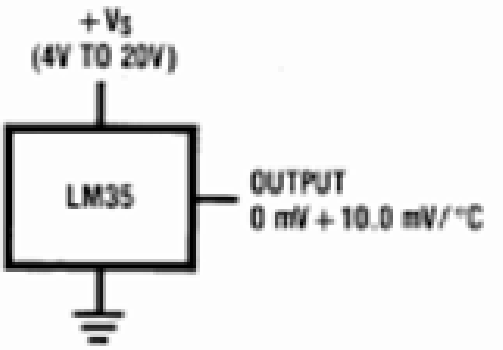
2.3 Sensor Suhu LM 35

LM 35 sebagai sensor suhu yang teliti dan terkemas dalam bentuk Integrated Circuit (IC), dimana output tegangan keluaran sangat linear terhadap perubahan suhu. Sensor ini berfungsi sebagai pegubah dari besaran fisis suhu ke besaran tegangan yang memiliki koefisien sebesar 10 mV /°C yang berarti bahwa kenaikan suhu 1° C maka akan terjadi

kenaikan tegangan sebesar 10 mV. IC LM 35 ini tidak memerlukan pengkalibrasian atau penyetelan dari luar karena ketelitiannya sampai lebih kurang seperempat derajat celcius pada temperature ruang. Sensor ini digunakan karena memiliki Jangkauan mulai dari – 55°C sampai dengan 150°C, IC LM35 penggunaannya sangat mudah, difungsikan sebagai kontrol dari indicator tampilan catu daya terbelah. IC LM 35 dapat dialiri arus 60 µ A dari supplay sehingga panas yang ditimbulkan sendiri sangat rendah kurang dari 0 ° C di dalam suhu ruangan.

Untuk mendeteksi suhu digunakan sebuah sensor suhu LM35 yang dapat dikalibrasikan langsung dalam C (celcius),

LM35 ini difungsikan sebagai sensor suhu,ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Sensor suhu LM 35

Sumber: Texas Instrument, 2000:2

V_{out}LM 35 ini dihubungkan dengan ADC (Analog To Digital Converter). Dalam suhu kamar (25^{o}C) tranduser ini mampu mengeluarkan tegangan 250mV dan 1,5V pada suhu 150^{o}C dengan kenaikan sebesar 10mV/^{o}C.

Selain itu IC LM35 memiliki keistimewaan sebagai berikut:

- Kalibrasi sudah dalam derajat celcius
- Linearitas +10 mV/^{o}C
- Akurasi 0,5 ^{o} C pada suhu ruang
- Range +2 ^{o}C - 150 ^{o}C
- Dioperasikan dengan catu daya 4V - 30 V
- Arus yang mengalir kurang dari 30µA

Secara umum Rumus perbandingan besarnya tegangan yang dihasilkan dengan suhu yang terdeteksi oleh sensor adalah sebagai berikut

$$= — \quad \textbf{(1)}$$

Keterangan:

Suhu = suhu yang terdeteksi oleh sensor LM35 (^{o}C)

V= besar tegangan yang dihasilkan (mV)

Agar mikrokontroller mampu membaca suhu yang diterima oleh LM35 dengan tepat, maka besarnya suhu yang diterima oleh LM35 harus dikonversikan terlebih dahulu menggunakan persamaan berikut:

$$= ——— \quad \textbf{(2)}$$

Keterangan:

ADC= nilai ADC yang terbaca mikrokontroller

$V_{terukur}$= tegangan yang dikeluarkan ileh sensor LM35

$V_{reff=}$ tegangan full scale dimana sensor dalam keadaan suhu maksimum

Setelah ditemukan nilai ADC dengan rumus diatas, maka hasil suhu dapat ditentukan dengan persamaanberikut:

$$= —— \quad \textbf{(3)}$$

Keterangan:

T_{max}= suhu pembacaan maksimum dari sensor

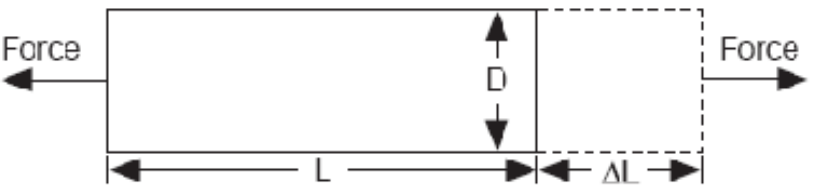
ADC= nilai ADC yang terbaca mikrokontroller

2.4 Load Cell

Load cell merupakan divais yang menggunakan prinsip kerja jembatan *wheat stone*. Selain itu secara elektrik *load cell* menggunakan prinsip efek piezo resistif dengan bentukfisik ditunjukkan dalam Gambar 2.4.

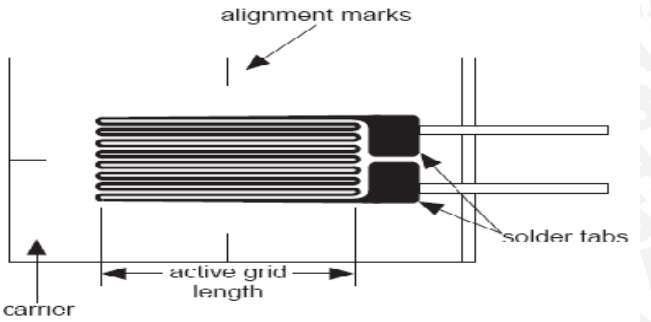
Gambar 2. 4 Bentuk Fisis Load cell
Sumber: Black, 1968: 13

Prinsip kerja *load cell* adalah strain gauge. *Strain* adalah sejumlah deformasi pada material sebagai pengaruh dari aplikasi gaya. Lebih spesifik, *strain*(ε) didefinisikan sebagai perbandingan perubahan panjangnya, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Definisi Strain
Sumber: Black, 1968: 13

Terdapat beberapa metode untuk mengukur *strain*, yang berikut ini adalah dengan *strain gauge*, sebuah *device* dengan beberapa resistansi bervariasi dan proporsional dengan sejumlah *strain* dalam divais. Sebagai contoh, *piezoresistive strain gauge* yang merupakan *semiconductor device* dimana resistansi berubah tak linier dengan *strain*. *Gauge*, yang paling luas digunakan adalah *bonded metallic strain gauge*, berisi beberapa *fine wire* atau *metallic foil* yang disusun dalam pola garis (*grid*) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6. Pola garis dimaksimasi dengan sejumlah kawat metalik dalam arah paralel.



Gambar 2. 6 Pola garis *Metallic gauge*

Sumber: Black, 1968: 15

Parameter fundamental dari *strain gauge* adalah sensitivitas dari *strain*, diekspresikan secara kuantitatif sebagai *gauge factor* (GF). *Gaugefactor* di definisikan sebagai rasio dari pembagian perubahan dalam resistansi dengan pembagian perubahan dari panjangnya (*strain*):

$$= \frac{\frac{\Delta}{}}{\frac{\Delta}{}} = \frac{\frac{\Delta}{}}{} \qquad \text{..... (4)}$$

Gaugefactor untuk *metallic strain gauges* secara tipikal adalah disekitar 2. Idealnya, resistansi *strain gauge* berubah hanya terhadap respons yang diaplikasikan pada *strain gauge material*, sebagaimana specimen material di mana *gauge* diaplikasikan, juga akan merespons terhadap perubahan temperatur. Maka dari itu pada data sheet biasanya dicantumkan juga suhu kompensasi dari sensor.

2.5 AVR AT- MEGA 8

AVR merupakan salah satu jenis mikrokontroler yang di dalamnya terdapat berbagai macam fungsi. Perbedaannya pada mikrokonrtoller yang pada umumnya digunakan seperti MCS51 adalah pada AVR tidak perlu menggunakan oscillator eksternal karena di dalamnya sudah terdapat internal oscillator. Selain itu kelebihan dari AVR adalah memiliki Power-On Reset, yaitu tidak perlu ada tombol reset dari luar karena cukup hanya dengan mematikan supply, maka secara otomatis AVR akan melakukan reset. Untuk beberapa jenis AVR terdapat beberapa fungsi khusus seperti ADC, EEPROM sekitar 128 byte sampai dengan 512 byte.

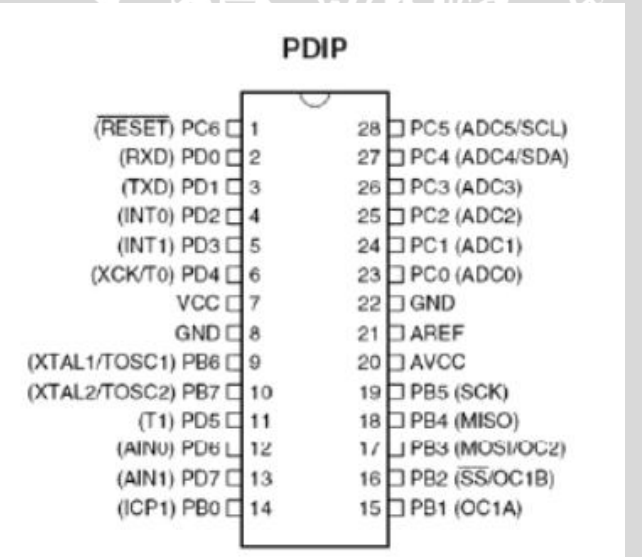
AVR ATmega8 adalah mikrokontroler CMOS 8-bit berarsitektur AVR RISC yang memiliki 8K byte in-Sistem Programmable Flash. Mikrokontroler dengan konsumsi daya rendah ini mampu mengeksekusi instruksi dengan kecepatan maksimum 16MIPS pada frekuensi 16MHz. Jika dibandingkan dengan ATmega8L perbedaannya hanya terletak pada besarnya tegangan yang diperlukan untuk bekerja. Untuk ATmega8 tipe L, mikrokontroler ini dapat bekerja dengan tegangan antara 2,7 - 5,5 V sedangkan untuk ATmega8 hanya dapat bekerja pada tegangan antara 4,5 – 5,5 V.

2.5.1 Konfigurasi PIN AVR ATMEGA8

Mikrokontroler AVR menggunakan teknologi RISC (*Reduced Instruction Set Computer)* dimana set instruksinya dikurangi dari segi ukurannya dan kompleksitas mode pengalamatannya.ATmega8 memiliki 28 Pin, yang masing-masing pin nya memiliki fungsi yang berbeda-beda baik sebagai port maupun fungsi yang lainnya. Berikut akan dijelaskan fungsi dari masing-masing kaki ATmega8.

Konfigurasi setian pin ATMEGA 8 ditunjukkan dalam Gambar 2.7.

\



Gambar 2. 7 Konfigurasi ATmega 8

Sumber: Texas Insrument, 2000: 3

- VCC

  Merupakan supply tegangan digital.

- GND

  Merupakan ground untuk semua komponen yang membutuhkan grounding.

- Port B (PB7...PB0)

  Didalam Port B terdapat XTAL1, XTAL2, TOSC1, TOSC2. Jumlah Port B adalah 8 buah pin, mulai dari pin B.0 sampai dengan B.7. Tiap pin dapat digunakan sebagai input maupun output. Port B merupakan sebuah 8-bit bi-directional I/O dengan internal pull-up resistor. Sebagai input, pin-pin yang terdapat pada port B yang secara eksternal diturunkan, maka akan mengeluarkan arus jika pull-up resistor diaktifkan. Khusus PB6 dapat digunakan sebagai input Kristal (inverting oscillator amplifier) dan input ke rangkaian clock internal, bergantung pada pengaturan Fuse bit yang digunakan untuk memilih sumber clock. Sedangkan untuk PB7 dapat digunakan sebagai output Kristal (output oscillator amplifier) bergantung pada pengaturan Fuse bit yang digunakan untuk memilih sumber clock. Jika sumber clock yang dipilih dari oscillator internal, PB7 dan PB6 dapat digunakan sebagai I/O atau jika menggunakan Asyncronous Timer/Counter2 maka PB6 dan PB7 (TOSC2 dan TOSC1) digunakan untuk saluran input timer.

- Port C (PC5…PC0)

  Port C merupakan sebuah 7-bit bi-directional I/O port yang di dalam masing-masing pin terdapat pull-up resistor. Jumlah pin nya hanya 7 buah mulai dari pin C.0 sampai dengan pin C.6. Sebagai keluaran/output port C memiliki karakteristik yang sama dalam hal menyerap arus (sink) ataupun mengeluarkan arus (source)

- RESET/PC6

  Jika RSTDISBL Fuse diprogram, maka PC6 akan berfungsi sebagai pin I/O. Pin ini memiliki karakteristik yang berbeda dengan pin-pin yang terdapat pada port C lainnya. Namun jika RSTDISBL Fuse tidak diprogram, maka pin ini akan berfungsi sebagai input reset. Dan jika level tegangan yang masuk ke pin ini rendah dan pulsa yang ada lebih pendek dari pulsa minimum, maka akan menghasilkan suatu kondisi reset meskipun clock-nya tidak bekerja

- Port D (PD7…PD0)

  Port D merupakan 8-bit bi-directional I/O dengan internal pull-up resistor. Fungsi dari port ini sama dengan port-port yang lain. Hanya saja pada port ini tidak terdapat kegunaan-kegunaan yang lain. Pada port ini hanya berfungsi sebagai masukan dan keluaran saja atau biasa disebut dengan I/O.

- AVcc

  Pin ini berfungsi sebagai supply tegangan untuk ADC. Untuk pin ini harus dihubungkan secara terpisah dengan VCC karena pin ini digunakan untuk analog saja. Bahkan jika ADC pada AVR tidak digunakan tetap saja disarankan untuk menghubungkannya secara terpisah dengan VCC. Jika ADC digunakan, maka AVcc harus dihubungkan ke VCC melalui low pass filter.

- AREF

  Merupakan pin referensi jika menggunakan ADC.

2.5.2 Memori AVR ATMEGA8

Memori atmega terbagi menjadi tiga yaitu :

a) Memori

   Memori flash adalah memori ROM tempat kode-kode program berada. Kata flash menunjukan jenis ROM yng dapat ditulis dan dihapus secara elektrik. Memori flash terbagi menjadi dua bagian yaitu bagian aplikasi dan bagian *boot*. Bagian aplikasi adalah bagian kode-kode program apikasi berada. Bagian *boot* adalah bagian yang digunakan khusus untuk *booting* awal yang dapat diprogram untuk menulis bagian aplikasi tanpa melalui *programmer/downloader*, misalnya melalui USART.

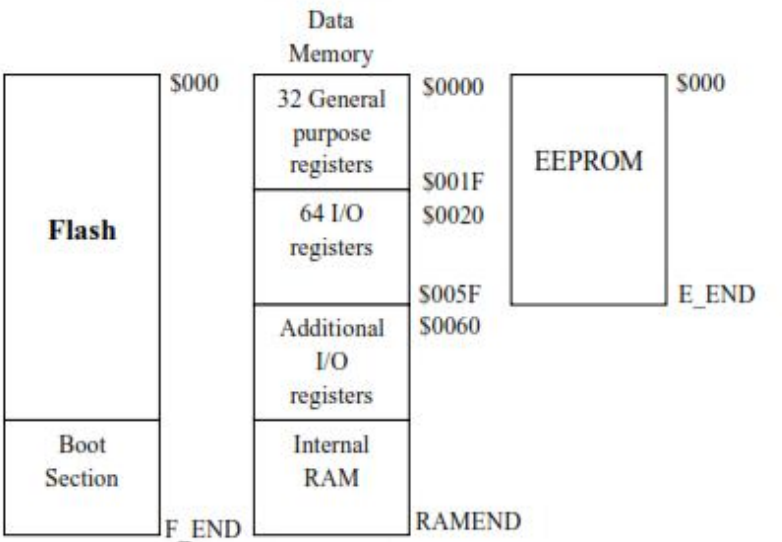
b) Memori data adalah memori RAM yang digunakan untuk keperluan program. Memori data terbagi menjadi empat bagian yaitu :

   PR (*General Purphose Register*) adalah register khusus yang bertugas untuk membantu eksekusi program oleh ALU *(Arithmatich Logic Unit*), dalam instruksi assembler setiap instruksi harus melibatkan GPR. Dalam bahasa C biasanya digunakan untuk variabel global atau nilai balik fungsi dan nilai- nilai yang dapat memperingan kerja ALU. Dalam istilah processor komputer sahari-hari GPR dikenal sebagai "*chace memory"*. I/O register dan Aditional I/O register adalah *register* yang difungsikan khusus untuk mengendalikan berbagai pheripheral dalam mikrokontroler seperti *pin port, timer/counter, usart* dan lain lain. Register ini dalam keluarga mikrokontroller MCS51 dikenal sebagi SFR*(Special Function Register).*

c) EEPROM

EEPROM adalah memori data yang dapat mengendap ketika chip mati (*off*), digunakan untuk keperluan penyimpanan data yang tahan terhadap gangguan catu daya.

Ketiga memori yang telah dijelaskan telah dipetakan didalam sistem dan ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 PetaMemori ATMEGA8

Sumber: Texas Instrument, 2000:15

2.5.3 Timer/ Counter 0

Timer/counter 0 adalah sebuah *timer/counter* yang dapat mencacah sumber pulsa/*clock* baik dari dalam *chip* (*timer*) ataupun dari luar *chip* (*counter*) dengan kapasitas 8*bit*atau 256 cacahan. *Timer/counter* dapat digunakan untuk :

- *Timer/counter* biasa
- *Clear Timer on Compare Match* (selain Atmega 8)
- *Generator* frekuensi (selain Atmega 8)
- *Counter* pulsa *eksternal*

2.6 Heater

Dalam perancangan ini untuk membuat suhu didalam pengering mengalami peningkatan dari suhu ruangan normal menjadi yang diinginkan dibutuhkan sebuah *heater*.

Heater yang dipakai merupakan *heater* yang umumnya digunakan dalam seterika elektrik. *Heater* nantinya akan dihubungkan dengan rangkaian relay yang akan menghentikan aliran listrik jika sudah tidak digunakan lagi. Gambar 2.9 menunjukkan bentuk fisik *heater* yang akan dipakai dalam alat.

Gambar 2. 9 Elemen Pemanas Seterika sebagai *Heater*

Sumber: Dokumentasi, 2013

Sedangkan cara kerja *heater* adalah menggunakan prinsip termodinamika, yaitu menggunakan panas lalu dialirkan ke wilayah bertemperatur rendah agar menjadi lebih hangat. Perpindahan panas tersebut terjadi secara spontan, yang kita butuhkan hanyalah panas untuk dipindahkan ke temperatur yang lebih tinggi.

2.7 Blower

Dalam suatu ruangan yang membutuhkan pengontrolan terhadap suhu, maka suhu didalam ruangan haruslah merata agar suihu yang terbaca sesuai dengan suhu disetiap sudut ruang. Masalahnya adalah jika ruangan erlalu besar, butuh waktu yang sangat lama untuk suhu menjadi stabil dan sama nilainya disetiap sudut ruang. Untuk mempercepat hal ini dirancanglah sebuah *blower* yang terdiri dari kipas DC yang akan meraakan panas didalam ruang. Kipas DC ini erhubung dengan relay sebagai saklar automatis jika sudah tidak digunakan lagi.

2.8 LCD (Liquid Crsytal Display)

LCD adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD bisa memunculkan gambar atau tulisan dikarenakan terdapat banyak sekali titik cahaya (piksel) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai sebuah titik cahaya. Meskipun disebut sebagai titik cahaya, namun kristal cair ini tidak memancarkan

cahaya sendiri. Sumber cahaya di dalam sebuah perangkat LCD adalah lampu neon berwarna putih di bagian belakang susunan kristal cair tadi.

Titik cahaya yang jumlahnya puluhan ribu bahkan jutaan inilah yang membentuk tampilan citra. Kutub kristal cair yang dilewati arus listrik akan berubah karena pengaruh polarisasi medan magnetik yang timbul dan oleh karenanya akan membiarkan beberapa warna diteruskan sedangkan warna lainnya tersaring.
LCD banyak diaplikasikan untuk menampilkan karakter untuk membantu menginformasikan proses dan control. LCD yang digunakan adalah LCD tipe karakter karena LCD ini dapat menampilkan data. Keuntungan yang dapat diperoleh dengan menggunakan LCD adalah:

1) Dapat menampilkan karakter ASCII, sehingga memudahkan untuk program menampilkannya
2) Mudah dihubungkan dengan port I/O karena hanya menggunakan 4 bit data dan 3 bit control
3) Ukuran dari modul yang proporsional

Fungsi pin LCD M1632 ditunjukkan dalam Tabel 1

Tabel 1 **Konfigurasi PIN LCD M1632**

NO	NAMA PIN	LEVEL	DESKRIPSI
1	VSS	0V	Ground
2	VDD	+5V	Tegangan suplai logika
3	VEE	VARIABEL	Tegangan kontras
4	RS	H/L	Register select, 0= perintah, 1= data
5	R/W	H/L	1= baca data, 0= tulis data
6	E	H/L	Enable clock
7	D0	H/L	Data bus 0
8	D1	H/L	Data bus 1
9	D2	H/L	Data bus 2
10	D3	H/L	Data bus 3
11	D4	H/L	Data bus 4
12	D5	H/L	Data bus 5
13	D6	H/L	Data bus 6
14	D7	H/L	Data bus 7
15	ANODE	4.2V- 4.6V	Tegangan positif backlight
16	KATODE	OV	Tegangan negative backlight

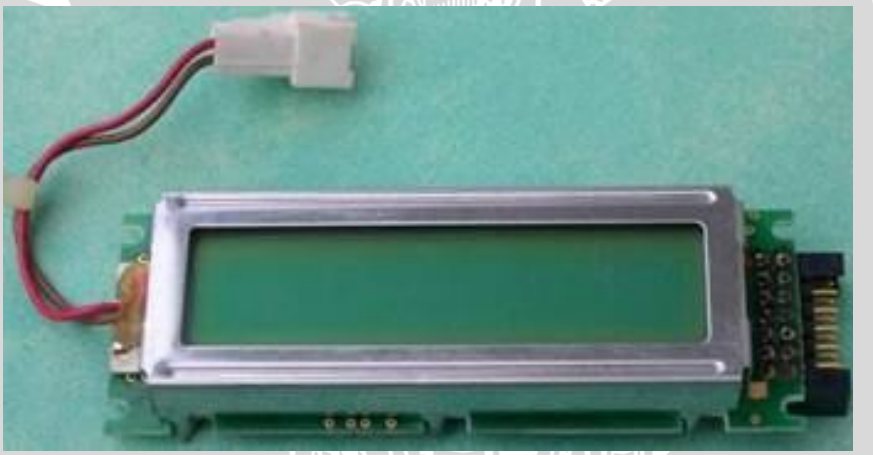
Sumber: delta-electronic.com/article/wp-content/.../09/an0034.pdf, 2013

Lcd tipe M1632 ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- LCD ini terdiri dari 32 karakter dengan 2 baris masing- masing 16 karakter dengan display dot matrik

- Karakter generator ROM dengan 192 tipe karakter
- Karakter generator RAM dengan 8 bit karakter
- Data RAM80x8 bit display
- Dapat diinterfacekan ke MCU 8 atau 4
- Dilengkapi fungsi tambahan antara lain *display clear*, *cursor home*, *display on/off*, *display character blink*, *cursor shift*, *display shift*
- Internal data
- Internal otomatis, reset pada saat power ON
- Tegangan +5v PSU tunggal

Modul peraga yang digunakan dalam perancangan ini adalaha LCD modul M1632.Gambar 2.10 menunjukkan tampilan fisik LCD M6132.



Gambar 2. 10 Tampilan Fisik LCD M6132 15x2 Karakter
Sumber: Dokumentasi, 2013

Modul LCD ini membutuhkan daya yang kecil dan dilengkapi dengan panel LCD dengan tingkat kontras yang cukup tinjggi serta pengendali LCD CMOS yang terpasang dalam modul tersebut. Pengendali mempunyai pembangkit karakter ROM/RAM dan display daa RAM. Semua fungsi display diatur oleh instruksi- instruksi, sehingga modul LCD ini dapat dengan mudah dihubungkan dengan unit mikroprosessor .LCD tipe ini tersusun sebanyak dua baris dengan 16 karakter masing barisnya.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Penyusunan penelitian ini berdasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasian alat agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah.

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

3.2 Penentuan Spesifikasi Sistem

Penentuan spesifikasi alat ini, bertujuan agar dapat dibuat sesuai yang diinginkan dan dapat bekerja dengan efektif serta efisien.Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1) Alat mampu mengeringkan jamur tiram dengan waktu lebih singkat dibandingkan menggunakan sinar matahari, dengan berat kering menjadi 4% dari berat sampel
2) Menggunakan sensor suhu untuk mengatur suhu sesuai dengan anjuran pengeringan jamur tiram
3) Menggunakan sensor berat (*load cell*) untuk mengetahui parameter jamur telah kering.
4) Mikrokontroller yang digunakan adalah AVR ATMEGA 8
5) Menggunakan *Heater* sebagai penghasil panas pada alat yang menghasilkan suhu 65^0C - 69^0C
6) Menggunakan kipas DC 5V sebagai *blower* yang digunakan untuk meratakan panas dalam ruang.
7) Bentuk fisik alat berupa oven konvensional dengan komponen- komponen pendukung agar alat dapat bekerja dengan baik.
8) Sampel berat jamur tiram sebesar 500 gr, dengan hasil akhir setelah kering sebesar 4% dari berat sampel.

3.3 Studi Literatur

Dalam penyusunan karya tulis ini, pengumpulan data dilakukan dengan melakukan studi literatur (*library research*), penelusuran informasi digital, dan wawancara narasumber dengan sasaran tinjauan antara lain:

1) Informasi internet.
2) Pustaka-pustaka referensi.
3) Pustaka penunjang.

Studi literatur yang dilakukan bertujuan untuk mengkaji hal-hal yang berhubungan dengan teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan perealisasian alat. Teori-teori yang dikaji adalah sebagai berikut:

1) Teori mengenai rangkaian sensor yang berfungsi merubah besaran fisik menjadi besaran elektrik.
2) Teori umum mengenai Jamur Tiram
3) Teori umum mengenai sensor suhu LM 35.
4) Teori umum mengenai sensor berat *Load cell*.
5) Teori umum mengenai LCD 16x2 karakter
6) Teori mengenai rangkaian sensor Suhu LM35
7) Teori mengenai rangkaian LCD 16x2 karakter
8) Sistem Pemrograman Mikrokontroller AVR ATMEGA 8

3.4 Perancangan Alat

Dalam perancangan membahas tentang diagram blok, perencanaan perangkat keras, cara kerja sistem dan perencanaan perangkat lunak.

3.4.1 Perencanaan Perangkat Keras

Perencanaan perangkat keras meliputi meliputi perencanaan rangkaian sensor LM35, rangkaian Load Cell, blok rangkaian pengkondisi sinyal, rangkaian sistem heater, rangkaian system blower, dan rangkaian AVR ATMGEGA 8.

3.4.2 Perencanaan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dibutuhkan mikrokontroller dan laptop/ *Unit Personal Computer* untuk mengendalikan perangkat keras. Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan cara membuat listing program untuk mikrokontroller yang dilakukan dengan pembuatan *flowchart* terlebih dahulu kemudian pembuatan programnya. Bahasa pemrograman yang dipakai mikrokontroler adalah pemrograman bahasa C.

3.5 Pengujian Sistem

Untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian rangkaian. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok dan kemudian secara keseluruhan sistem. Pengujian alat dilakukan sebagai berikut:

1) Pengujian Perangkat Keras
    a. Pengujian Sensor Suhu LM 35

       Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon sensor terhadap suhu sebelum dikuatkan. Pengujian dilakukan dengan membaca suhu di dalam suatu wadah berisi air.
    b. Pengujian Sensor Berat Load Cell

       Pengujian ini dilakukan untuk melihat respon sensor sebelum dan setelah dikuatkan dengan mencoba pembacaan suatu sample dan dibandingkan dengan pembacaan sample contoh dengan timbangan lain.

    c. Pengujian ADC

       Pengujian ADC dilakukan untuk mengetahui apakah ADC dapat bekerja dengan baik untuk mengkonversi sinyal analog dari sensor LM 35 dan sensor berat Load Cell menjadi sinyal digital. Dalam pengujian ini digunakan ADC internal yang terdapat dalam mikrokontroller AVR ATMEGA 8.
    d. Pengujian Penguat Tak Membalik

Pengujian dilakukan untuk melihat hasil tegangan dari output LM 35 yang dikuatkan oleh penguat pembalik agar sesuai dengan spesifikasi yang diinganka.

e. Pengujian Penguat Instrumentasi INA125

Pengujian dilakukan untuk melihat hasil tegangan dari output load cell setelah dikuatka oleh penguat instrumentasi INA125 agar sesuai dengan spesifikasi tegangan yang diinginkan.

f. Pengujian keseluruhan system

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah system yang telah dibuat telah berjalan dengan baik.

2) Pengujian Perangkat Lunak

Untuk pengujian perangka lunak diterapkan langsung terhadap rangkaian perangkat keras yang telah dirancang dan direalisasikan sebelumnya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah perangka lunak mampu menangani perangkat keras yang ada.

3) Pengujian Keseluruhan system

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan menyambungkan blok perangkat keras dan selanjutnya mengoperasikan sistem sehingga dapat diketahui apakah alat bekerja sesuai spesifikasi yang diharapkan.

BAB IV
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Dalam bab ini akan dibahas cara perancangan dan pembuatan Alat Pengering Jamur Tiram Sebagai Alternatif Penjemuran Matahari. Perancangan alat meliputi perancangan elektrik dan perancangan software.

Perancangan perangkat keras terdiri dari perancangan rangkaian catu daya, perancangan rangkaian sensor suhu, perancangan rangkaian sensor load cell, perancangan rangkaian driver relay, perancangan blok rangkaian pengkondisi sinyal dan blok mikrokontroller. Sedangkan untuk perancangan software meliputi program untuk ATmega8.

4.1 Penentuan Spesifikasi Alat

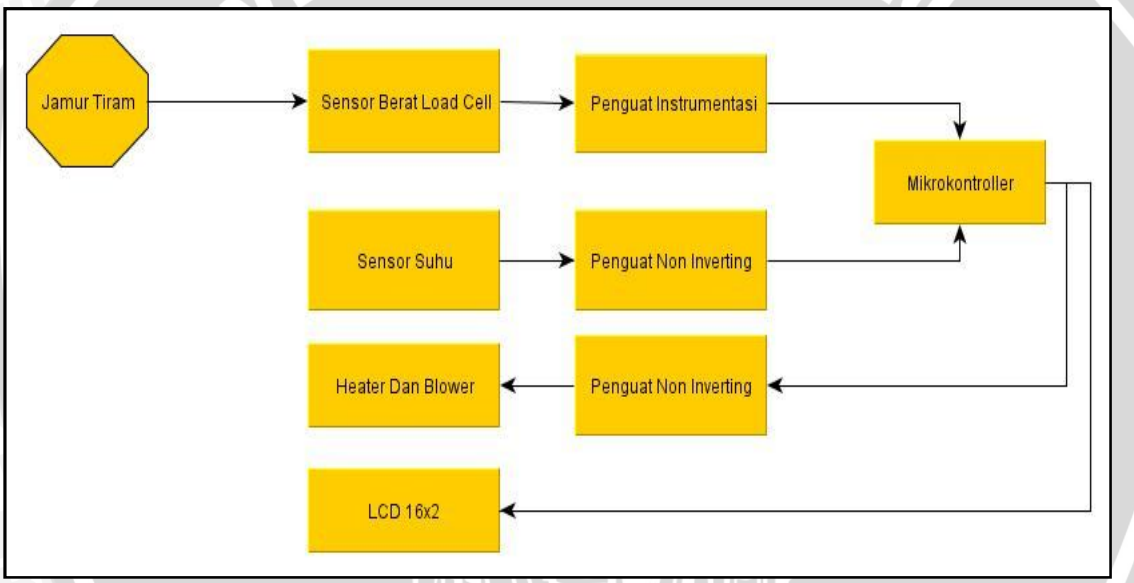
Dalam menyusun rangkaian alat perlu ditentukan spesifikasi alat terlebih dahulu. Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1) Menggunakan sensor suhu LM35 untuk mengatur suhu sesuai dengan anjuran pengeringan jamur tiram
2) Menggunakan sensor berat (*load cell*) dengan kapasitas *maximum* 2kg. untuk mengetahui parameter jamur telah kering.
3) Catu daya 5V untuk penguat pembalik, untuk mikrokontroller, penguat instrumentasi dan untuk driver relay dan blower.
4) Menggunakan Mikrokontroller AVR ATMEGA 8 sebagai pengontrol utama
5) Menggunakan *Heater* sebagai penghasil panas pada alat yang menghasilkan suhu 65^0C - 69^0C
6) Menggunakan kipas DC 5V sebagai *blower* yang digunakan untuk meratakan panas dalam ruang.
7) Menggunakan LCD 16x2 sebagai tampilan display.
8) Menggunakan IC INA125 dan LM358 sebagai penguat *Load Cell* dan penguat tak membalik.
9) Menggunakan Sampel berat jamur tiram sebesar 500 gr.

10) Menggunakan kipas DC 5V sebagai *blower* yang digunakan untuk meratakan panas dalam ruang.
11) Menggunakan elemen pemanas setrika sebagai *Heater*.

4.2 Perancangan Sistem

Pembuatan blok diagram Perancangan alat pengering jamur tiram sebagai alternative penjemuran matahari ini merupakan dasar dari perancangan system. Diagram blok ini nantinya akan digunakan untuk pengecekan masing- masing blok dari rangkaian yang ditujukan dalam gambar 4.1



Gambar 4. 1 Blok diagram system

Sumber: Perancangan, 2012

Dalam gambar 4.1 dapat dijelaskan secara umum mengenai bagian- bagian yang menyusun keseluruhan sistem dari alat ini, diantaranya:

1) LCD
   Digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan suhu dan monitoring berat pada proses pengeringan jamur tiram.
2) Heater
   Digunakan untuk memanaskan ruang dalam proses pengeringan.

3) Blower

Digunakan untuk meratakan panas dalam ruang agar suhu disetiap sudut dan sisi diharapakan sama.

4) ATmega8

Mikrokontroller digunakan sebagai pusat pengolahan data yang diterima dan sebagai pusat kontrol dari keseluruhan system dari alat.

5) Driver Relay

Driver relay digunakan untuk melakukan *switching* pada *blower* dan *heater* guna proses control dalam proses pengeringan.

6) Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal terbagi dari dua rangkaian yang terhubung dengan 2 sensor yang digunakan untuk menguatkan tegangan yang dikeluarkan oleh sensor.

4.3 Prinsip Kerja Alat

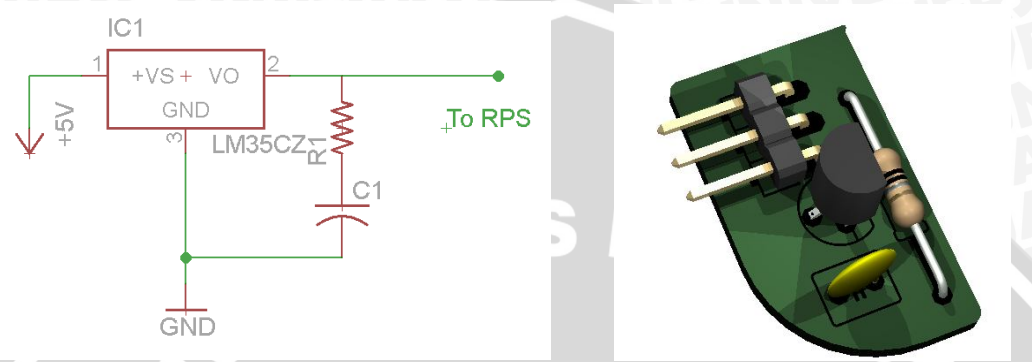
Alat bekerja dengan cara mengatur panas yang diberikan *heater*. Panas yang dikeluarkan diatur agar sesuai dengan temperature yang diinginkan. Untuk mengatur dan membaca suhu dalam ruangan pengering, sensor suhu LM 35 berperan dalam hal ini. Selain suhu, sebagai parameter pengering digunakan juga sensor berat *Load cell*, dimana sensor ini membaca berat dari sample jamur yang akan dikeringkan, hingga jamur mencapai berat yang diinginkan maka seluruh sistem akan berhenti secara otomatis. Adapun *blower* memiliki fungsi untuk meratakan panas didalam ruangan. Sedangkan kondisi temperature dan besarnya berat jamur selama proses pengeringan akan ditampilkan dalam LCD 16x2 karakter.

4.4 Perancangan Perangkat Keras

4.4.1 Rangkaian Sensor Suhu LM35

Keluaran sensor suhu LM35 akan dihubungkan langsung ke Rangkaian pengkondisi sinyal. Sensor LM35 harus dihubungkan terlebih dahulu dengan resistor dan kapasitor dikarenakan sensor dihubungkan beban kapasitif yang berupa kabel yang dapat mempengaruhi hasil output jika kabel terlalu panjang, hal ini sesuai

dengan spesifikasi yang tertera dalam *datasheet*. Gambar perencanaan ditunjukkan dalam gambar 4.2



Gambar 4. 2 Rangkaian sensor suhu LM35 dan *printed board*

Sumber: Perancangan, 2013

LM35 memiliki kemampuan terbatas untuk menahan beban kapasitif berat. LM35 dengan sendirinya mampu menahan 50 pF tanpa tindakan pencegahan khusus. Jika beban lebih berat diantisipasi, mudah untuk mengisolasi atau memisahkan beban dengan resistor. Atau Anda dapat meningkatkan toleransi kapasitansi dengan serangkaian RC peredam dari output ke *Ground*. Namun, seperti dengan rangkaian linier yang terhubung ke kabel di lingkungan yang tidak bersahabat atau terpengaruh oleh noise, kinerjanya dapat terpengaruh menjadi tidak maksimal, seperti relay, pemancar radio, motor dengan sikat lengkung, SCR transien, kabel, dll.

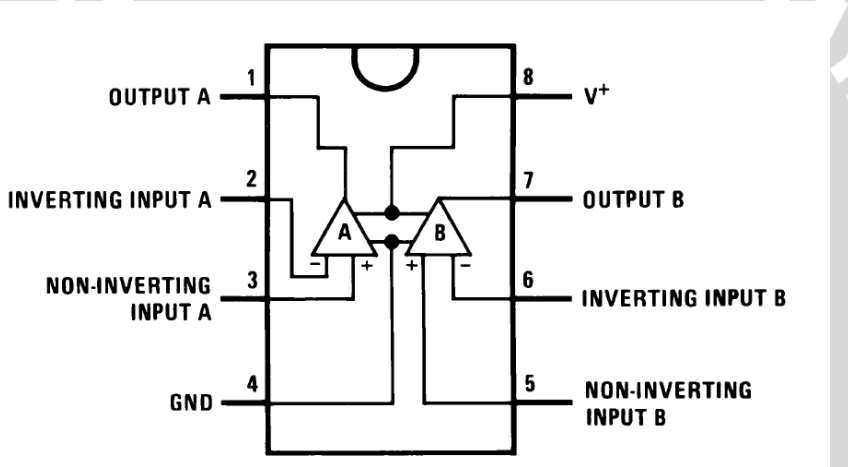
Output dari LM35 ini akan dihubungkan langsung ke rangkaian pengkondisi sinyal. LM35 memiliki sensitivitas 10 mV/^{o}C dengan range suhu +2^{o}C sampai +150^{o}C (sumber*: National Instrument*, 2000:1).

4.4.2 Rangkaian Penguat Tak Membalik

Rangkaian penguat tak membalik digunakan untuk menguatkan *Output* dari sensor suhu LM35. Rangkaian Penguat Tak Membalik merupakan penguat sinyal dengan karakteristik dasat sinyal output yang dikuatkan memiliki fasa yang sama

dengan sinyal input. Penguat tak-membalik (non-inverting amplifier) dapat dibangun menggunakan penguat operasional, karena penguat operasional memang didesain untuk penguat sinyal baik membalik ataupun tak membalik.

Rangkaian penguat tak-membalik ini dapat digunakan untuk memperkuat isyarat AC maupun DC dengan keluaran yang tetap sefase dengan sinyal inputnya. Impedansi masukan dari rangkaian penguat tak-membalik (non-inverting amplifier) berharga sangat tinggi dengan nilai impedansi sekitar 100 MOhm. IC LM358 digunakan sebagai IC penguat dikarenakan dapat bekerja dengan daya rendah (*low power amplifier*) dan relative murah dengan spesifikasi yang baik. Gambar 4.6 menunjukkan konfigurasi Pin dari LM 358.



Gambar 4. 3 Konfigurasi Pin LM358

Sumber: Texas Instrument, 2013:12

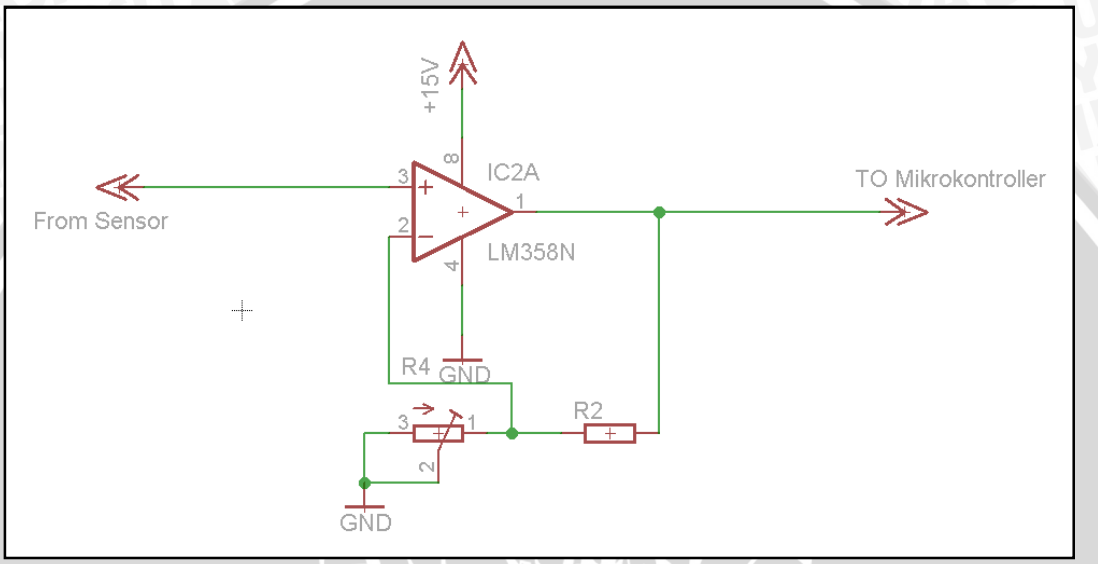
Penjelasan kaki pin dari LM 358 yang terdapat dalam gambar 4.6 ditunjukkan dalam tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Konfigurasi Pin LM358

NO	Nama	Keterangan
1	Output A	Merupakan keluaran dari op amp A
2	Inverting Input A	Merupakan input kutub inverting dari op- amp A
3	Non-Invert Input A	Merupakan input kutub inverting dari op- amp A
4	GND/V-	GND atau catu negatif untuk saturasi
5	Non-Invert Input	Merupakan input kutub non- inverting dari op- amp

	A	B
6	Inverting Input A	Merupakan input kutub inverting dari op- amp B
7	Output B	Merupakan keluaran dari op- amp B
8	V+	Catu positif untuk saturasi

Gambar rangkaian penguat tak membalik ditunjukkan dalam gambar 4.7



Gambar 4. 4 Rangakaian Penguat Tak Membalik

Sumber: Perancangan, 2013

Karena sifat ideal op- amp, yaitu impedansi yang tak berhinggga besarnya, maka tidak ada arus yang masuk melalui kedua terminal masukan. Dan semua arus akan melewati R1 dan R2, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Sehingga penguatan dari penguat tak membalik dapat ditulis dengan persamaan (sumber: *http://elektronika-dasar.web.id/percobaan/penguat-tak-membalik-non-inverting-amplifie/*):

$$= — + \quad \textbf{(5)}$$

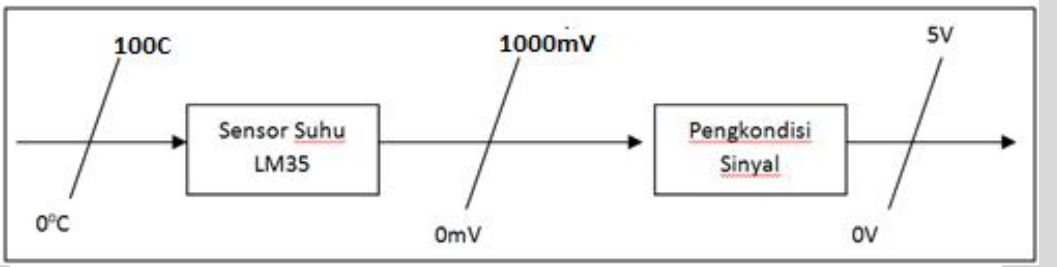
Persamaan diatas menunjukkan bahwa perolehan penguatan bergantung pada R2 dan R1.

Selanjutnya V_{out} dapat ditemukan dengan persamaan dibawah ini (sumber: handbook, 2013:8):

$$= \quad — + \qquad \textbf{(6)}$$

Dalam perancangan rangakaian penguat tak membalik untuk rangkaian sensor suhu LM35 terlebih dahulu harus disesuaikan dengan spesifikasi suhu yang diinginkan. Karena orde dari output LM35 adalah milivolt maka dibutuhkan *gain.*

Maka dapat dirancang spesifikasi yang ditunjukkan gambar 4.8.



Gambar 4. 5 Spesifikasi Input dan Output Pengkondisi Sinyal

Sumber: Perancangan, 2013

Sesuai persamaan (6) maka R1 dapat dihitung dengan asumsi bahwa besar R2= 1kΩ.

$$5 = \frac{1000\Omega}{R1} + 1 \quad 1$$

$$5 = \frac{1000\Omega}{R1} + 1$$

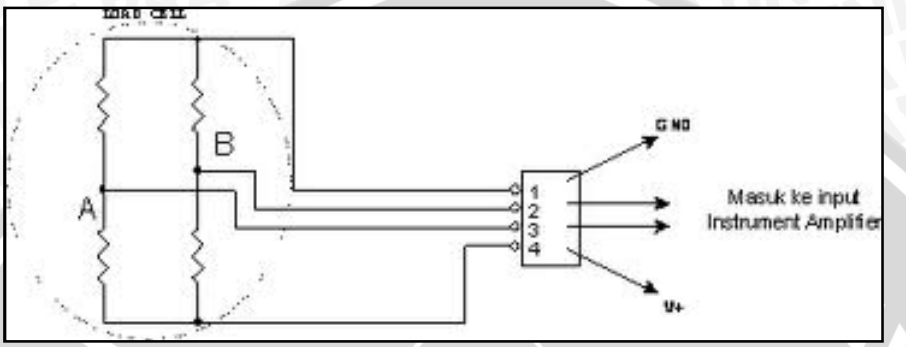
$$5R1 = 1000 + R1$$

$$R1 = 250\Omega$$

Jadi R1 ditetapkan sebesar 250 Ω dan *gain* sebesar 5

4.4.3 Rangkaian Load Cell

Load cell yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah load cell dengan kapasitas maksimum 2kg, dengan sensitivitas sensor ±0.6 mV/V. Rangkaian sensor load cell ditunjukkan dalam gambar 4.3.



Gambar 4. 6 Rangkaian Sensor Load Cell

Sumber: delta-electronic.com

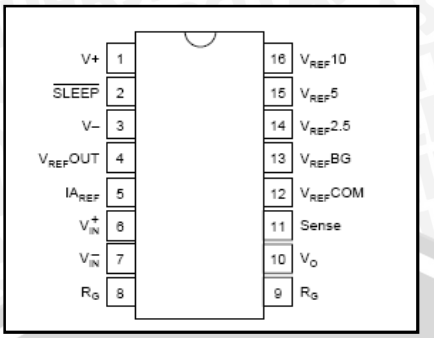
Load cell bekerja dengan diberikan teganga V+ sebesar 5V dengan prinsip kerja *strain gauges* dan jembatan wheatstone. Perbedaan resistansi menyebabkan adanya tegangan yang keluar yang langsung dihubungkan ke rangkaian pengondisi sinyal.

Load cell akan diberi V+ sebesar 5 V. Maka besarnya tegangan full scale dari sensor adalah 0.6mV/V x 5V= 3.0mV sehingga dapat disimpulkan tegangan output sebesar 3.0mV adalah berat maksimal yang dicapai yaitu 2Kg.

4.4.4 Rangkaian Penguat Instrumentasi

Rangkaian penguat instrumentasi dalam perancangan alat ini menggunaka INA125. Yang merupakan IC khusus untuk penguatan instrumentasi yang memiliki tegengan referensi yang variatif, memiliki tegangan off se yang kecil maksimum 250µV dan memiliki power supply range yang lebar yaitu ±1.35V hingga ±18V.

gambar 4.9 menunjukkan konfigurasi pin dari INA125



Gambar 4. 7 Konfigurasi Pin INA125

Sumber: Burr- Brown, 2013:4

Penjelasan kaki pin AD 620 ditunjukkan pada tabel 3.

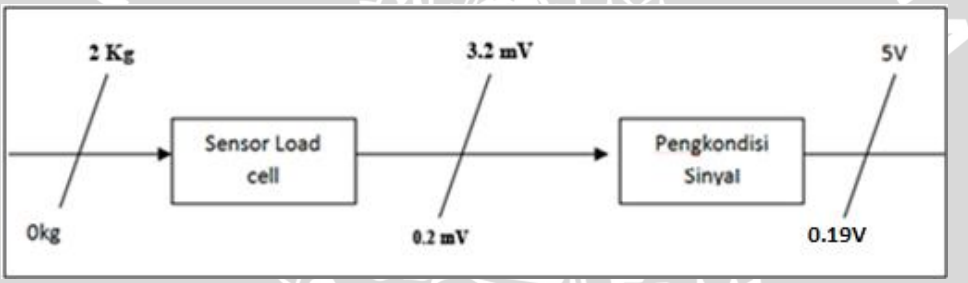
Tabel 3 Keterangan Fungsi Pin INA125

NO	Notasi	Keterangan
1	V+	Tegangan sumber
2	Sleep	Fasilitas Sleep Automatis
3	V-	Ground atau Tegangan negative (untuk dual supply)
4	V_{ref} Out	Tegangan referensi yang dihasilkan.
5	I_AReff	Arus referensi jika ada
6	V^+In	Tegangan positif input
7	V^-In	Tegangan negative input
8	Rg	Set untuk gain external resistor
9	Rg	Set untuk gain external resistor
10	Vo	Tegangan Output penguat instrumentasi
11	Sense	Dihubungkan dengan Vo
12	V_{ref} Com	Gnd untuk tegangan referensi

13	V_{ref} BG	Tegangan referensi setengah dr tegangan sumber
14	V_{ref} 2.5	Tegangan referensi bernilai 2.5V
15	V_{ref} 5	Tegangan referensi bernilai 5V
16	V_{ref} 10	Tegangan referensi bernilai 10V

Sumber: Burr- Brown, 2013:4

Penentuan spesifikasi untuk sensor load cell hingga menjadi input yang sesuai yang diinginkan ditunjukkan dalam gambar 4.10.



Gambar 4. 8 Spesifikasi Input dan Output penguat instrumentasi

Sumber: perancangan, 2013

Sebelum menentukan , terlebih dahulu kita harus menentukan *gain* dari penguat instrumentasi. *Gain* ditentukan dengan persamaan berikut (sumber: datasheet INA125, 2013:10)

$$= + \frac{\Omega}{} \quad \textbf{(7)}$$

Namun karena nilai Rg tidak dikeahui maka terlebih dahulu kita menghitung gain dengan cara perbandingan dua persamaan sebagai berikut,

$$= \frac{}{} \quad \textbf{(8)}$$

$$= \frac{(\quad - \quad . \quad)}{(\quad . \quad - \quad . \quad)} = \quad .$$

Dengan

= tegangan yg diinginkan awal

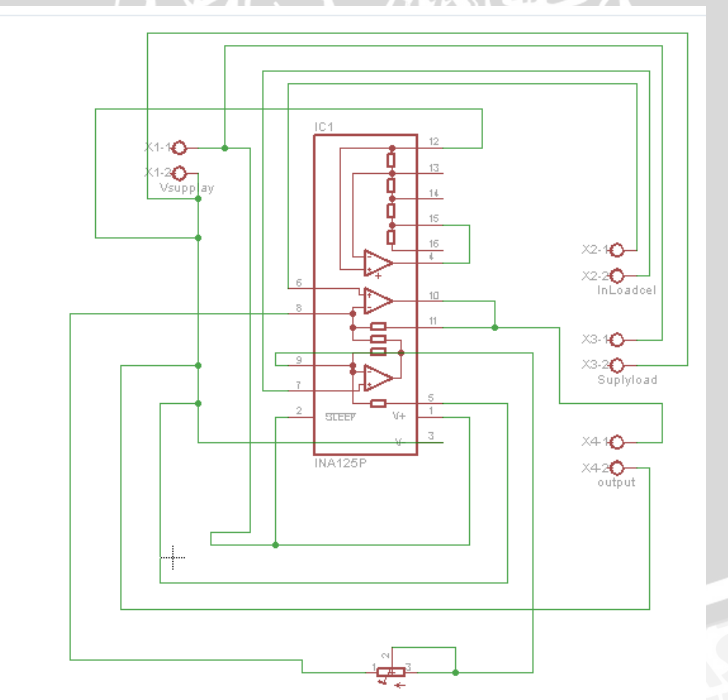
= tegangan akhir yang diinginkan

= tegangan awal sensor

= tegangan akhir sensor

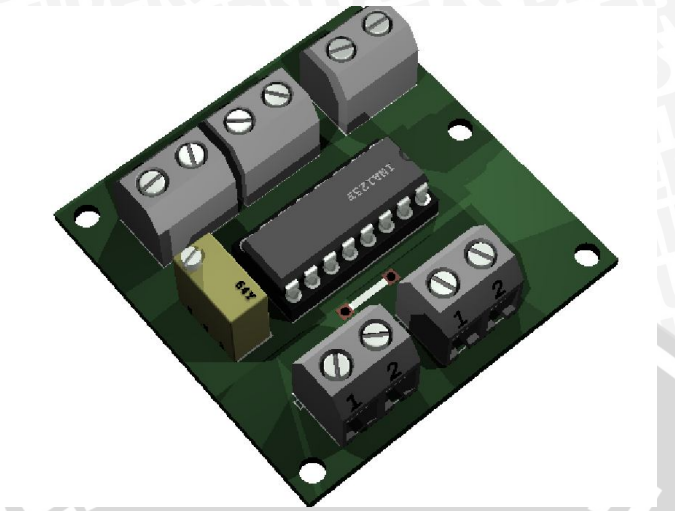
Maka didapatkan nilai gain sebesar 1603.33 dan setelah dimasukkan ke persamaan (7) didapatkan Rg sebesar 37.51Ω**,** hal ini diperlukan agar output dari penguat instrumentasi sesuai dengan spesifikasi input dan output yang diinginkan yaitu dari 0.19- 5V.

Rangkaian penguat instrumentasi ditunjukkan pada gambar 4.11 berikut:



Gambar 4. 9 Rangkaian Penguat Instrumentasi
Sumber: Perancangan, 2013

Rangkaian penguat instrumentasi ditunjukkan pada gambar 4.12 berikut.

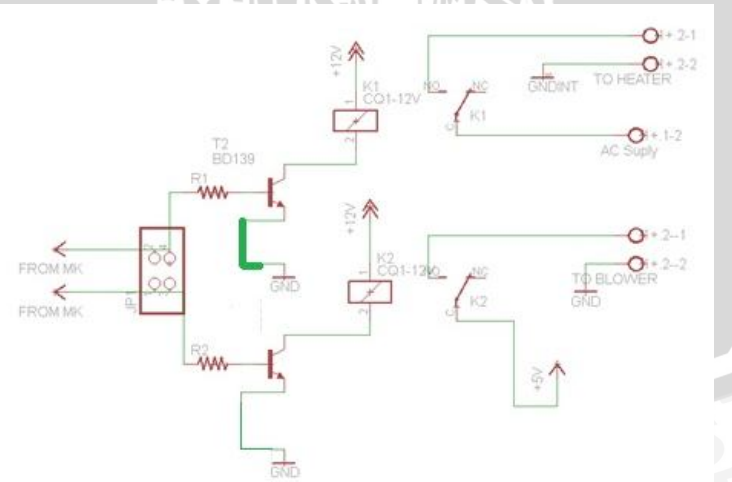


Gambar 4. 10 Printed Board Blok Rangkaian Pengkondisi Sinyal

4.4.5 Rangkaian Driver Relay

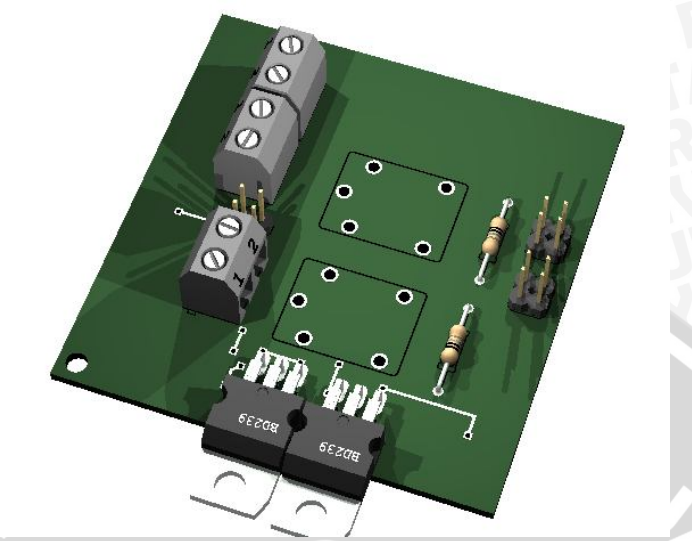
Relay dalam perancangan ini digunakan dalam menghidupkan dan mematikan dua komponen actuator yaitu *heater* dan *blower*. Relay yang digunakan dalam perancangan ini adalah tipe SPDT.

Rangkaian driver relay dan printed board ditunjukkan dalam gambar 4.4. dan gambar 4.5



Gambar 4. 11 Rangkaian Driver Relay

Sumber: Perancangan, 2013



Gambar 4. 12 Printed Board Rangkaian Driver Relay

Sumber: Perancangan, 2013

Untuk bekerja sesuai yang diinginkan relay dengan tahanan coil sebesar 55Ω perlu di *trigger* terlebih dahulu oleh transistor, diakrenakan tegangan mikrokontroller tidak bisa langsung mengaktifkan relay. Untuk men- *drive* Coil dari sebuah relay, diperlukan rangkaian switching transistor, karena biasanya output digital dari sebuah IC atau TTL arusnya tidak cukup kuat melakukannya. Disini tipe transistor yang digunakan adalah BD139 NPN Silicon Transistor dan Relay SPST 5V. R1 dan R2 (Rb) pun harus dihitung terlebih dahulu agar dapat memicu transistor sesuai dengan aturan yang ada. Untuk menghitung Rb pertama kita harus menghitung I_L (arus beban). Dari data yang sudah ada berikut.

- $I_{C\,MAX}$ = 1.5 A
- $V_{CE\ Saturasi}$ = 0.5 V
- V_{BE} = 1 V
- hfe = 40

Nilai arus kolektor (I_C) yang mengalir pada kolektor pada saat kondisi saturasi dapat dihitung berdasarkan persamaan

$$Vcc = I_C . R_{COIL} + V_{CE}$$
$$5V = I_C . 55\Omega + 0{,}5V$$
$$I_C = \frac{5V - 0{,}5V}{55\Omega}$$
$$= 81.81\,mA$$

Nilai ini masih dibawah nilai arus maskimal pada kolektor sebesar 1500 mA. Nilai arus basis (I_B) yang mengalir pada kaki basis transistor BD139 dapat dihitung berdasarkan persamaan

$$I_B = \frac{I_C}{hfe}$$
$$I_B = \frac{81.81\,mA}{60}$$
$$= 1{,}36\,mA$$

Nilai R_B dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$R_B = \frac{V_{IN} - V_{BE}}{I_B}$$
$$= \frac{(5-1)V}{(1.36)mA} = 2.94k\Omega$$

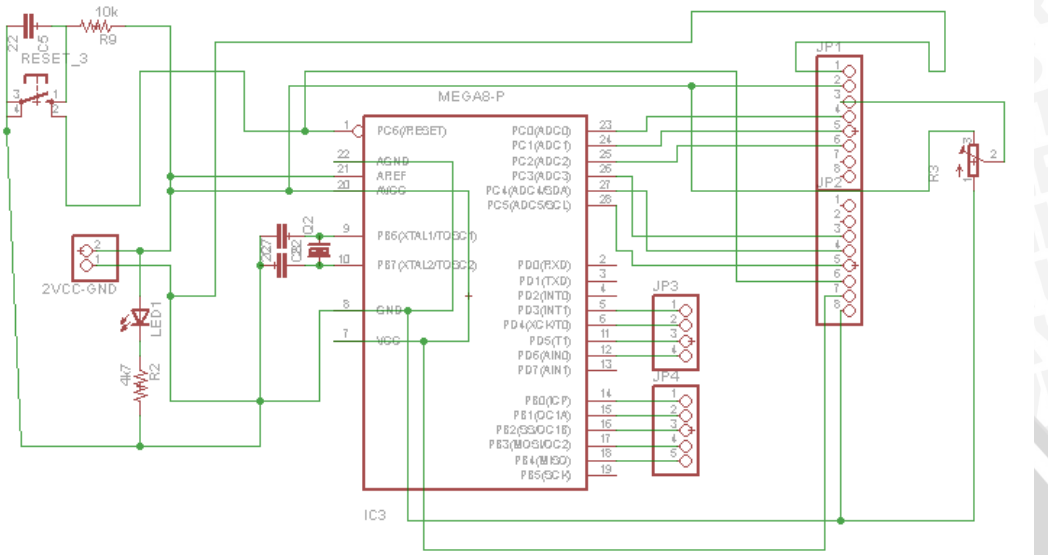
Nilai resistor 2,94kΩ merupakan nilai maksimal yang harus terpasang pada kaki basis pada transistor, maka digunakan resistor yang dijual dipasaran dengan nilai 2.7kΩ.

4.4.6 Blok Rangkaian Mikrokontroller ATmega8

Mikrokontroller ATmega 8 merupakan pengendali keseluruhan system dari perancangan alat ini. Dalam mikrokontroller ATmega8 telah dilengkapi dengan 8 bit ADC yang berguna dalam memproses sinyal dari blok rangkaian pengkondisi sinyal.

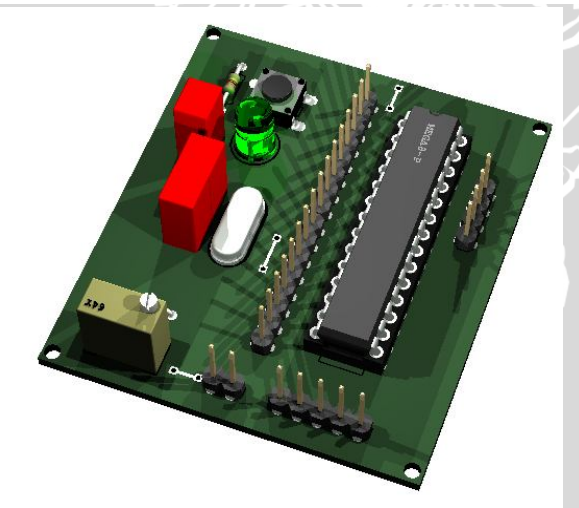
Dalam perancangan rangkaian ATMega8 sebagian Port C dan Port D dikonfigurasikan untuk menjadi Input unutk LCD 16x2.

Diagram rangkaian dan rangkaian dalam pcb ditunjukkan dalam gambar 4.13 dan 4.14 berikut.



Gambar 4. 13 Diagram rangkaian ATmega8

Sumber: Perancangan, 2013



Gambar 4. 14 Printed board rangkaian ATmega8

Sumber: Perancangan, 2013

4.5 Perancangan Perangkat Lunak

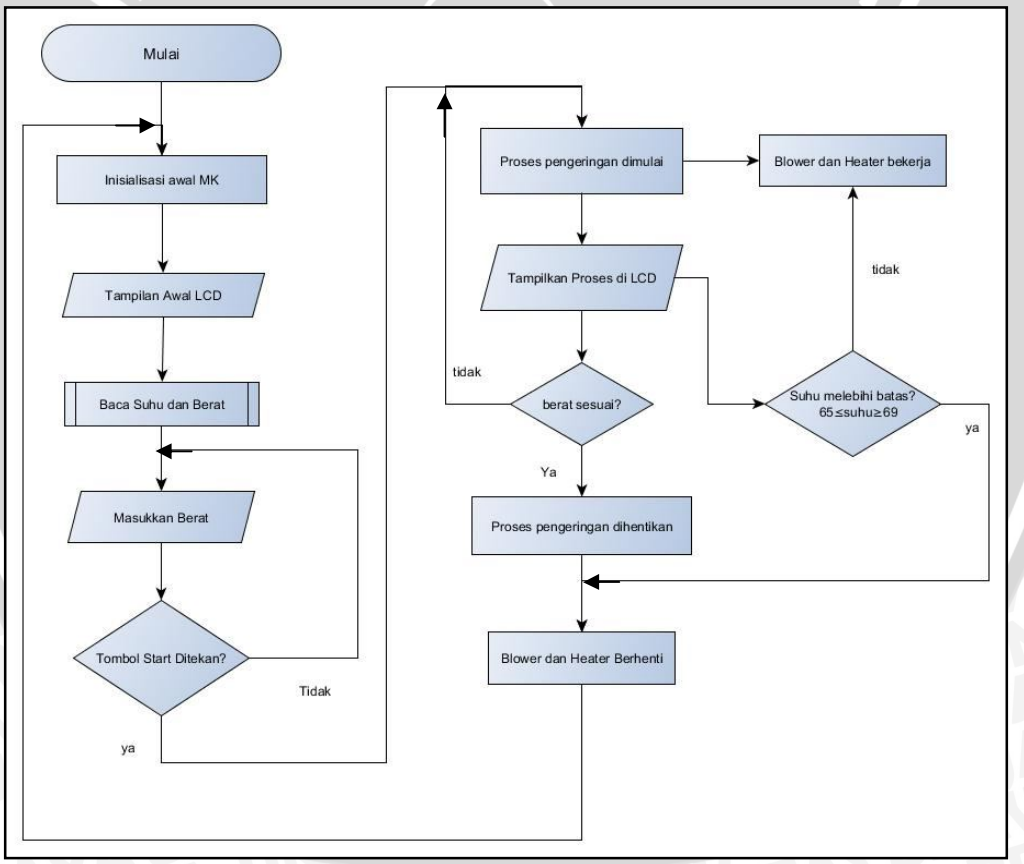
Perangkat lunak pada perancangan alat ini dirancang dengan menggunakan bahasa C mikrokontroller ATMEGA 8. *Software* kompilasi yang digunakan adalah *Code Vision AVR*. Untuk memberikan gambaran umum jalannya program dan

memudahkan pembuatan perangkat lunak, maka dibuat flowchart yang menunjukkan jalannya program.

4.5.1 Perancangan Program Utama

Flow chart program utama dalam perancangan alat ini ditunjukkan pada gambar 4.15.

Pada diagram alir proses inisialisasi awal pada mikrokontroller ini meliputi pengaturan port mikrokontroller, pengaturan adc, pengaturan LCD, dan pengaturan input serta output.



Gambar 4. 15 Flowchart Program Sistem Keseluruhan

Sumber: Perancangan, 2013

Dalam alat ini proses dimulai dengan memberikan nilai berat benda yang akan dikeringkan, nilai yang telah diberikan berikutnya menjadi input dalam proses

pengeringan. Setelah tombol *start* ditekan maka proses pengeringan akan dimulai dengan suhu yang telah ditentukan.

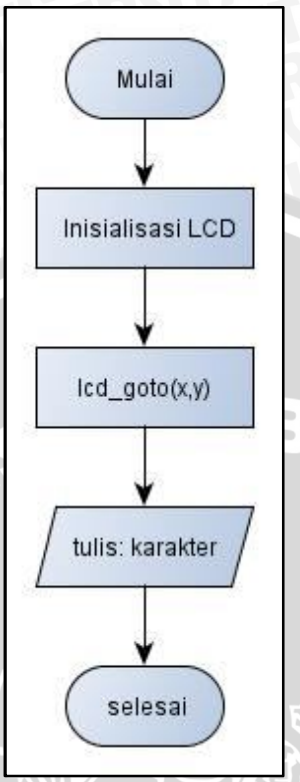
Dalam alat ini Proses pengeringan akan berhenti jika berat benda telah mencapai berat yang sesuai dengan parameter berat benda telah kering. Sehingga pengguna tida direpotkan dengan memasukkan data secara manual. Dalam proses pengeringan nilai suhu dan berat selama proses pengeringan akan ditampilkan dalam LCD, sehingga memudahkan pengguna dalam pemantauan proses pengeringan.

4.6 Sub Program Tampil LCD

Program untuk meng- akses LCD dirancang menggunakan *file header* "lcd.h". lcd digunakan untuk memantau dan mengamati proses selama pengeringan berlangsung. Diagram alir program ditunjukkan dalam gambar 4.16

Hal yang terpenting untuk menggunakan LCD adalah dengan melakukan inisialisasi LCD terlebih dahulu. Mode operasi yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah mode operasi 4 bit, yang artinya hanya ada 4 port dari LCD yang dihubungkan keport Mikrokontroller.

Dalam perancangan ini port yang digunakan sebagai output ke LCD adalah PC.3-PC.5 dan PD.3 sebagai jalur data bus yang diperlukan dalam proses transfer data. Pada mode 4 bit ini data yang akan dikirim terlebih dahulu adalah MSB dan yang akan dilanjutkan data 4bit LSB

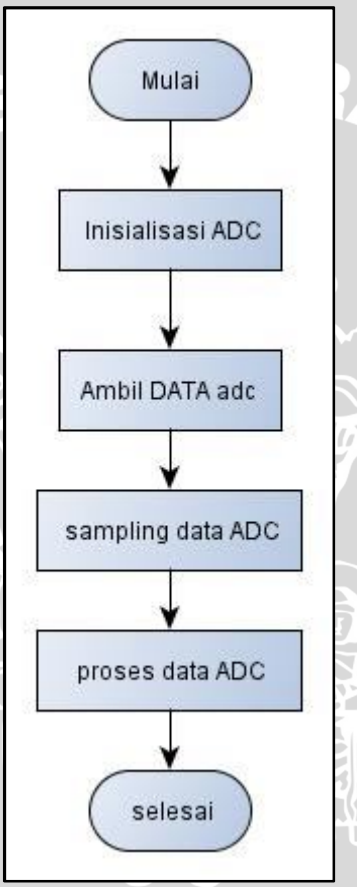


Gambar 4. 16 Flowchart Program LCD

Sumber: Perancangan, 2013

4.7 Sub Program Baca Suhu LM35

Sub program Baca Suhu LM35 merupakan bagian dari program utama agar proses pengeringan berjalan sesuai dengan parameter- parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Flow chart dibuat agar LM35 dapat membaca suhu yang sesuai dan tepat dengan suhu yang ada disekitar sensor. Flowchart ditunjukkan pada gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Flowchart Baca suhu LM35

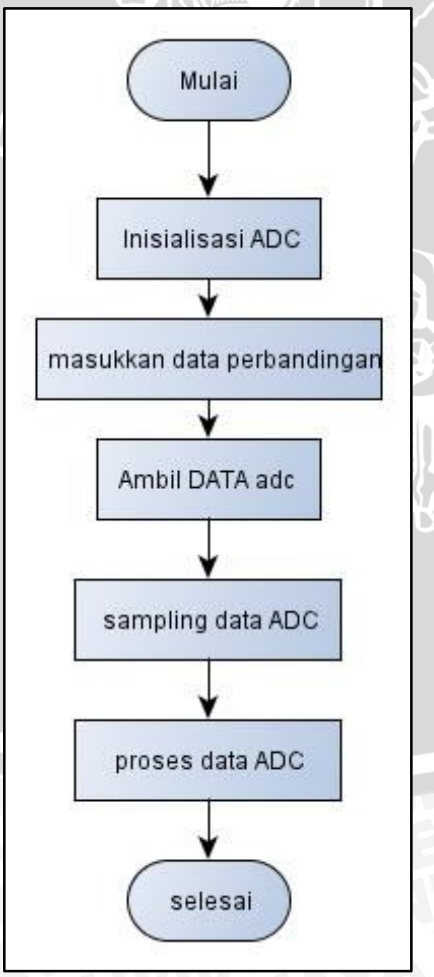
Sumber: Perancangan, 2013

Dalam sub program baca suhu LM35 ini menggunakan ADC sehingga hal yang pertama kali dilakukan adalah inisialisasi ADC terlebih dahulu. Pada inisialisasi ADC ini dilakukan pengakifan ADC, pengauran resolusi ADC sebesar 10 bit, tegangan referensi yang digunakan sebesar 5 Volt, dan pemilihan mode konversi *free- running.*

Kemudian data ADC diambil dari port PC.1 yang terhubung langsung dengan output LM35. Untuk hasil yang terbaik maka pengukuran suhu dilakukan dengan mengambil rata- rata data dari hasil sampling ADC sebanyak sampling yang telah ditentukan. Data hasil sampling ini diproses sehingga didapat data suhu yang sesuai dengan sebenarnya.

4.8 Sub Program Baca *Load Cell*

Sub program Baca *Load cell* ini merupakan bagian utama dalam proses pengeringan. Proses pengeringan sangat berganung pada hasil berat yang dihasilkan. Untuk membaca perubahan berat benda selama proses pengeringan maka dibuat flow chart agar berat benda sesuai dengan berat sesungguhnya. Flowchart baca *Load cell* ditunjukkan pada gambar 4.18



Gambar 4. 16 Flowchart Baca *Load Cell*

Sumber: Perancangan, 2013

Sama seperti pada proses baca Suhu LM35, untuk membaca *load cell* juga memerlukan inisialisasi adc, sampling data, dan proses data adc.

Namun agar berat benda sesuai dengan berat benda sesungguhnya kita perlu terlebih dahulu menghitung dua berat benda yang telah diketahui untuk kemudian dimasukkan sebagai konstanta dalam program nantinya agar didapat berat yang sesuai dengan berat sesungguhnya. Hal ini dapat disebut juga sebagai kalibrasi sensor *load cell.*

BAB V
PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini membahas pengujian dan analisis alat yang telah dirancang dan direalisasikan. Pengujian dilakukan di tiap-tiap blok dengan tujuan untuk mengamati apakah tiap blok rangkaian sudah sesuai dengan perancangan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian keseluruhan sistem. Pengujian ini terdiri atas pengujian perangkat keras dan pengujian perangkat lunak. Jika semua pengujian telah dilakukan maka dilakukan pengujian secara keseluruhan.

Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1) Pengujian *Load Cell*
2) Pengujian Penguat Instrumentasi INA 125
3) Pengujian Sensor Suhu LM35
4) Pengujian Penguat Pembalik
5) Pengujian ADC
6) Pengujian LCD
7) Pengujian Relay
8) Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

5.1 Pengujian *Load Cell*

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui hasil pengukuran berat dari sebuah benda dalam sebuah respon perubhana benda dengan cara mengukur tegangan yang dihasilkan oleh *Load Cell* sebelum dan setelah dikuatkan dalam proses pengukuran.

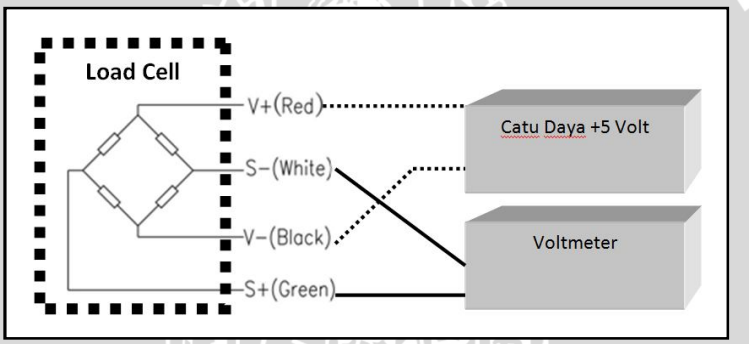
Peralatan yang digunakan dalam Pengujian Sensor *Load Cell* yang digunakan adalah:

1) *Load Cell* kapasitas 2kg
2) Beberapa bandul pemberat
3) Timbangan Acuan

4) Catu daya +5 Volt
5) Multimeter

Prosedur dalam pengujian Blok sensor *Load Cell* yang dilakukan adalah sebagai berikut:

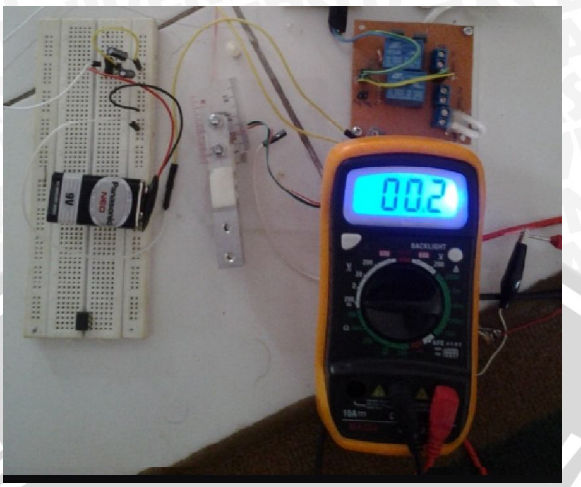
1) Pengujian sebelum dikuatkan dilakukan seperti ditunjukkan pada gambar 5.0
2) Pengujian setelah dikuatkan dilakukan seperti gambar 5.1
3) Atur skala multimeter
4) Berikan berat secara bertahap
5) Amati dan tulis tegangan yang terjadi untuk setiap nilai berat yang berbeda yang terukur pada *Load Cell*



Gambar 5. 0 Diagram Blok pengujian Sensor Berat

Sumber: Perancangan, 2013

Setelah seluruh prosedur telah dilaksanakan maka pengukuran untuk setiap tetapan berat dilakukan. Gambar 5.2 menunjukkan proses pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan berat 100 gram hingga 1000 gram.



Gambar 5. 1 Foto Pengujian Sensor Load Cell

Sumber: Perancangan, 2013

Berdasarkan diagram dan pengujian didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil Pengujian Load Cell

Berat (gram)	Tegangan Pengukuran (mV)				Rata- Rata Pengukuran (mV)
	1	2	3	4	
100	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
200	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
300	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
400	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
500	0.8	0.8	8	0.8	0.8
600	1	1	1	1	1
700	1.2	1.2	1.1	1.2	1.175
800	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
900	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1000	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7

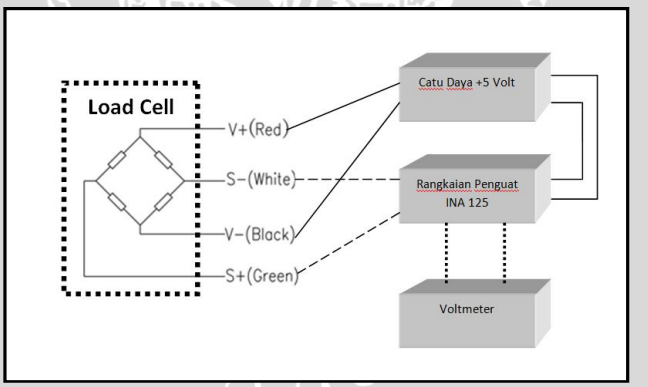
5.2 Pengujian Penguat Instrumentasi INA125

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui hasil tegangan output dari Penguat instrumentasi INA125 dari pengukuran berat dari sebuah benda. Peralatan yang digunakan dalam Pengujian Sensor *Load Cell* yang digunakan adalah:

1) *Load Cell* kapasitas 2kg
2) Beberapa bandul pemberat
3) Timbangan Acuan
4) Catu daya +5 Volt
5) Multimeter
6) Penguat Instrumentasi INA 125

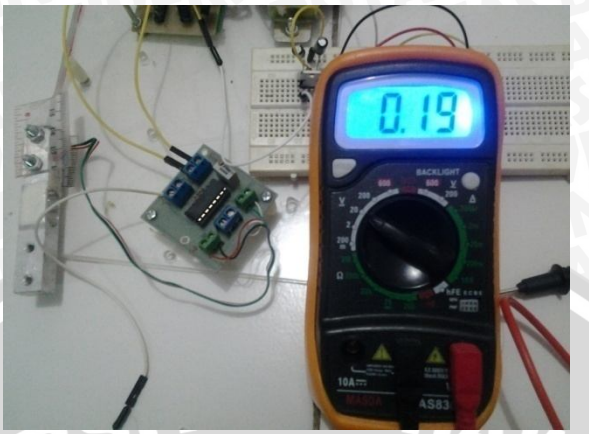
Prosedur dalam Pengujian Penguat Instrumentasi INA125 yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1) Pengujian sebelum dikuatkan dilakukan seperti ditunjukkan pada gambar 5.2
2) Pengujian setelah dikuatkan dilakukan seperti gambar 5.3
3) Atur skala multimeter
4) Berikan berat secara bertahap
5) Amati dan tulis tegangan yang terjadi untuk setiap nilai berat yang berbeda yang terukur pada *Load Cell*



Gambar 5. 2 Diagram Blok Pengujian Load Cell Dengan Penguatan

Sumber: Perancangan, 2013

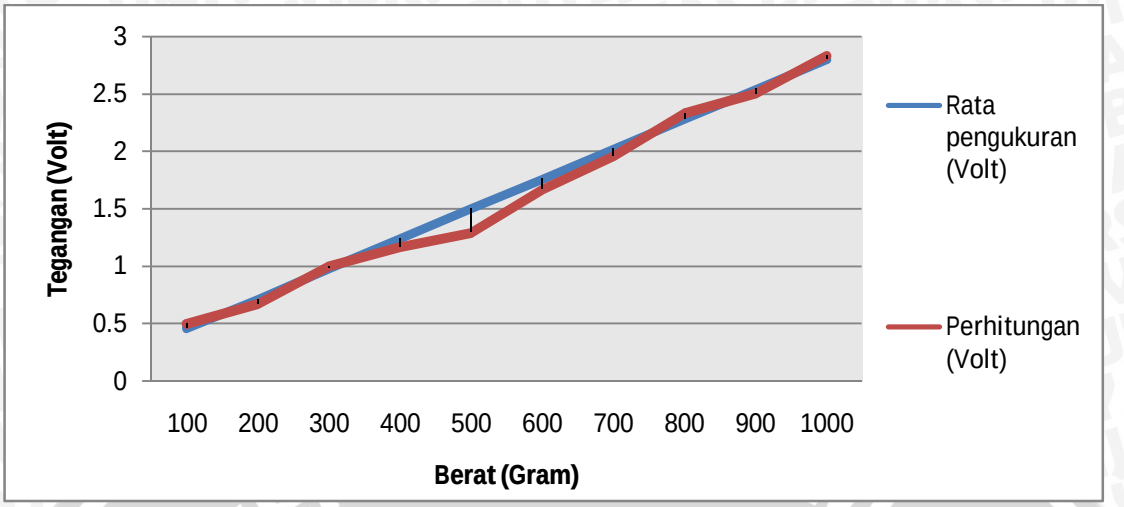


Gambar 5. 3 Foto Pengujian Sensor Load cell dengan Penguatan

Tabel 5 Data Hasil Pengujian Blok Sensor Load Cell dengan Penguatan

Berat (gram)	Tegangan Pengukuran (V)				Rata- Rata Pengukuran (V)	Perhitungan (V)	Penyimpangan
	1	2	3	4			
100	0.46	0.5	0.46	0.46	0.46	0.48	4.17%
200	0.71	0.7	0.71	0.71	0.71	0.64	10.94%
300	0.98	1	0.98	0.98	0.98	0.96	2.50%
400	1.24	1.2	1.24	1.24	1.24	1.12	10.71%
500	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.28	17.19%
600	1.76	1.8	1.76	1.76	1.76	1.603	9.79%
700	2.02	2	2.02	2.02	2.02	1.88	7.45%
800	2.28	2.3	2.28	2.28	2.28	2.24	1.79%
900	2.54	2.5	2.54	2.54	2.54	2.4	5.83%
1000	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.72	2.94%
Penyimpangan Rata- rata							7.33%

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa respon load cell terhadap perubahan beban yang terjadi mendekati linear. Dari tabel 5 juga dapat dilihat bahwa perbandingan antara pengukuran beban setelah dikuatkan oleh rangkaian instrumentasi INA125 mayoritas tidak memiliki range yang jauh dengan perhitungan yang dilakukan dengan mengalikan data pada tabel 4 dengan Gain, yaitu sebesar 1603.33 kali.



Grafik 1 Perbandingan Antara Tegangan dan Berat

Sumber: Perancangan, 2013

Grafik 1 menunjukkan gambaran bahwa tegangan antara rata- rata pengukuran dan dengan perhitungan manual mendekati linear dengan penyimpangan terbesar terjadi pada perhitungan berat sebesar 500 gram dengan penyimpangan rata- rata sebesar 7.33%.

Persamaan yang digunakan untuk mencari prosentase kesalahan dari tegangan sebelum dengan setelah dikuatkan adalah sebagai berikut:

$$= \frac{h \quad -}{h} \text{ X } 100 \qquad \ldots\ldots (9)$$

5.3 Pengujian Sensor suhu LM35

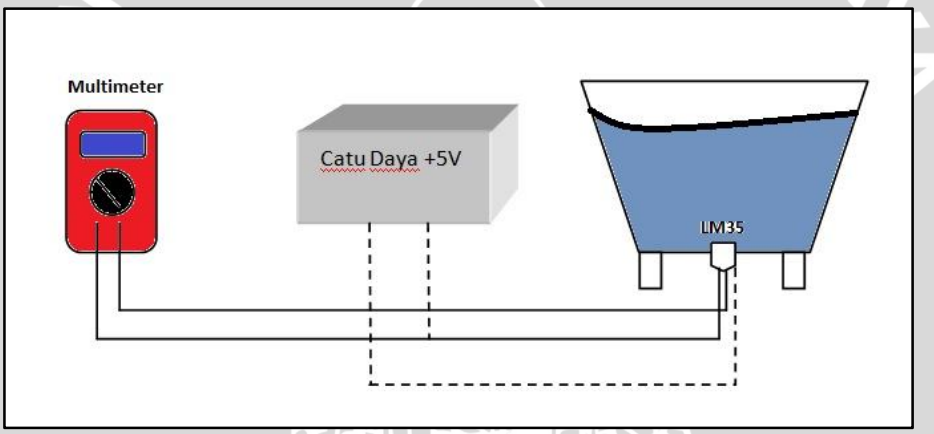
Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui hasil tegangan output dari pengukuran suhu dalam suatu bejana yang telah diisi air dengan suhu yang telah ditentukan, peralatan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut:

1) Sensor Suhu LM35
2) Bejana dengan air panas
3) Termometer Raksa Acuan
4) Catu daya +5 Volt

5) Multimeter

Prosedur dalam Pengujian sensor suhu LM35 yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1) Pengujian dilakukan seperti ditunjukkan pada gambar 5.4
2) Hidupkan catu daya
3) Atur skala multimeter
4) Tuang air panas ke dalam bejana
5) Amati dan tulis perubahan tegangan setiap perubahan suhu yang terjadi dalam bejana dengan mengamati termometer acuan



Gambar 5. 4 Diagram Blok Pengujian sensor suhu LM35

Sumber: Perancangan, 2013

Gambar 5. 5 Pengujian Sensor Suhu Lm35

Sumber: Perancangan, 2013

Gambar 5.5 menunjukkan suhu pada saat suhu 40 derajat Celsius. Terliahat multimeter mengeluarkan tegangan sebesar 406 milivolt yang mengalami perbedaan sebesar 6 milivolt dari tegangan yang seharusnya sesuai dengan sensiticitas sensor yaitu sebesar 10 derajat celcius per milivolt.

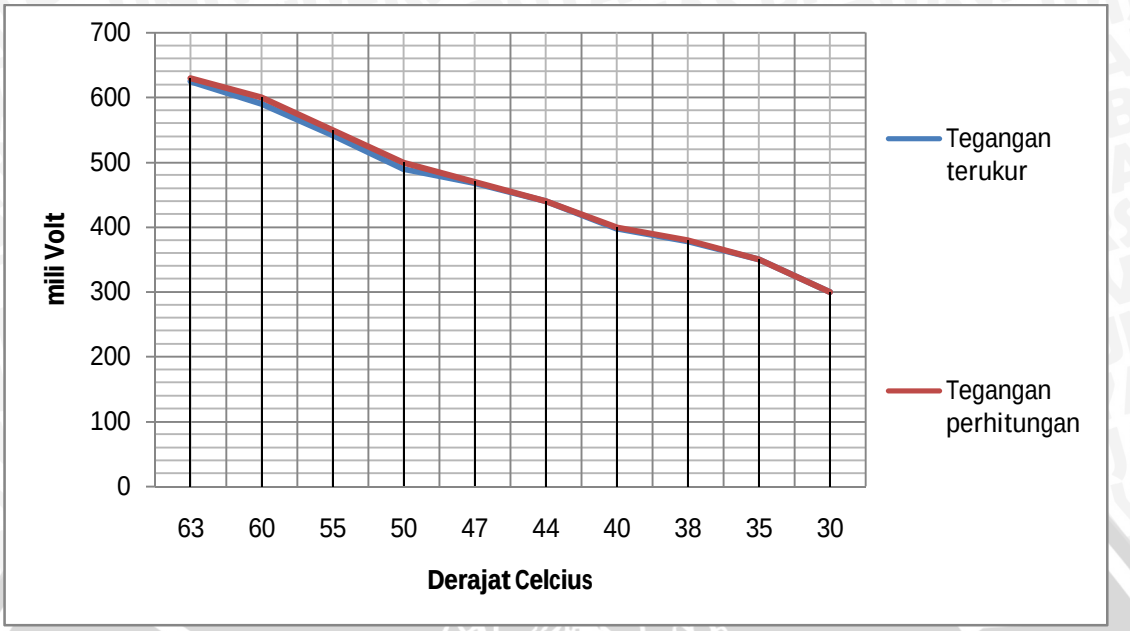
Tabel 6 Data Hasil Pengujian Sensor Suhu LM35

Suhu (derajat Celcius)	Tegangan Output (mV)	Perhitungan (mV)	Penyimpangan
63	625	630	0.79%
60	590	600	1.67%
55	542	550	1.45%
50	490	500	2.00%
47	468	470	0.43%
44	440	440	0.00%
40	406	400	1.50%
38	378	380	0.53%
35	350	350	0.00%
30	300	300	0.00%
Rata- rata Penyimpangan			0.84%

Dari tabel 6 terlihat setiap perubahan suhu yang terjadi yang terukur oleh Sensor Suhu LM35 tidak berbeda jauh dengan tegangan perhitungan.

Tegangan perhitungan didapatkan dengan mengambil nilai sensitivitas yang telah dijelaskan dalam data sheet bahwa setiap derajat akan ada perubahan tegangan sebesar 10mV. Maka terlihat dari tabel bahwa tegangan perhitungan tidak berbeda terlalu jauh dari tegangan yang terukur.

Grafik 2 menunjukkan bahwa nilai dari perhitungan dan pengukuran terhadap perubahan suhu mendekati linier.



Grafik 2 Perbandingan Antara Perubahan Suhu terhadap Perubahan Tegangan

Sumber: Perancangan, 2013

5.4 Pengujian Sensor Suhu LM35 Dengan Penguat Tak Membalik

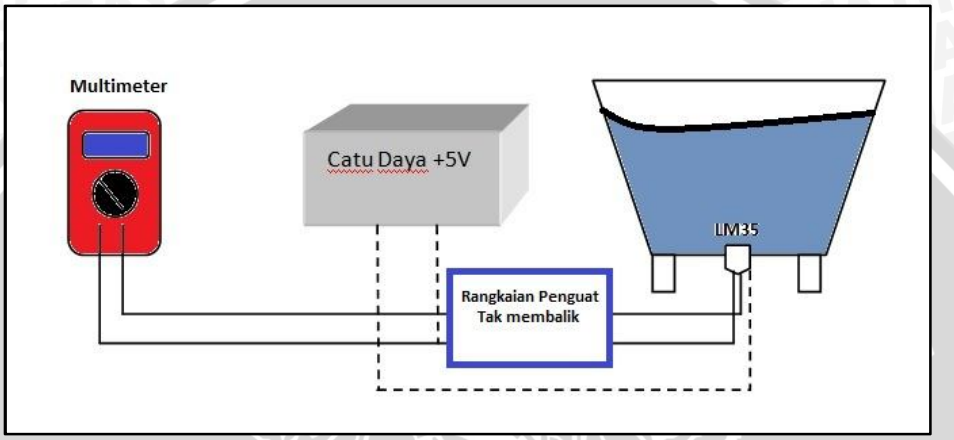
Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui hasil tegangan output dari pengukuran suhu yang telah dikuatkan 5 kali sehingga pengukuran suhu memiliki range dari 0V hingga 5V, peralatan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut:

1) Sensor Suhu LM35
2) Rangkaian Penguat Tak membalik
3) Bejana dengan air panas
4) Termometer Raksa Acuan
5) Catu daya +5 Volt
6) Multimeter

Prosedur dalam Pengujian adalah sebagai berikut:

1) Pengujian dilakukan seperti ditunjukkan pada gambar 5.6
2) Hidupkan catu daya
3) Atur skala multimeter
4) Tuang air panas ke dalam bejana

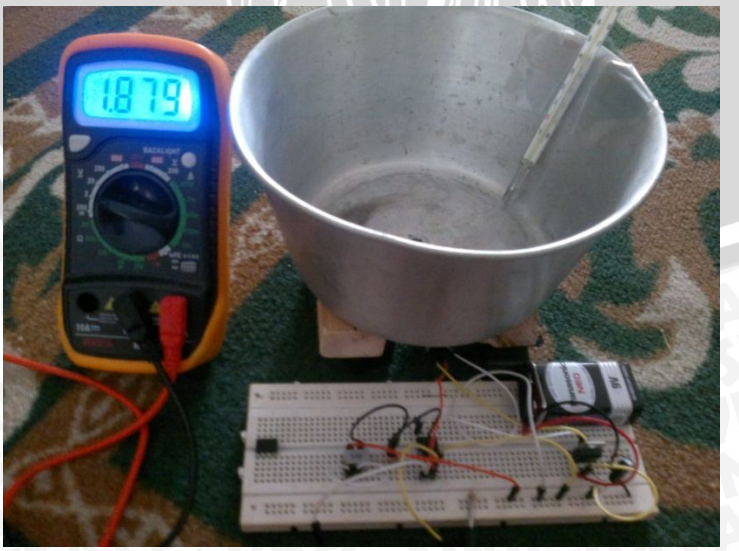
5) Amati dan tulis perubahan tegangan setiap perubahan suhu yang terjadi dalam bejana dengan mengamati termometer acuan



Gambar 5. 6 Diagram Pengujian Penguat Tak Membalik

Sumber: Perancangan, 2013

Rangkaian penguat tak membalik menggunakan 1 buah IC 358N single supply yang daitur hingga memberikan penguatan sebesar 5 kali. LM35 ditempelkan dibawah wadah dan diberikan air panas sehingga lm35 mengukur suhu secara menurun. Untuk pembanding digunakan thermometer air raksa.



Gambar 5.7 Pengujian Sensor Suhu LM35 dengan penguat tak membalik

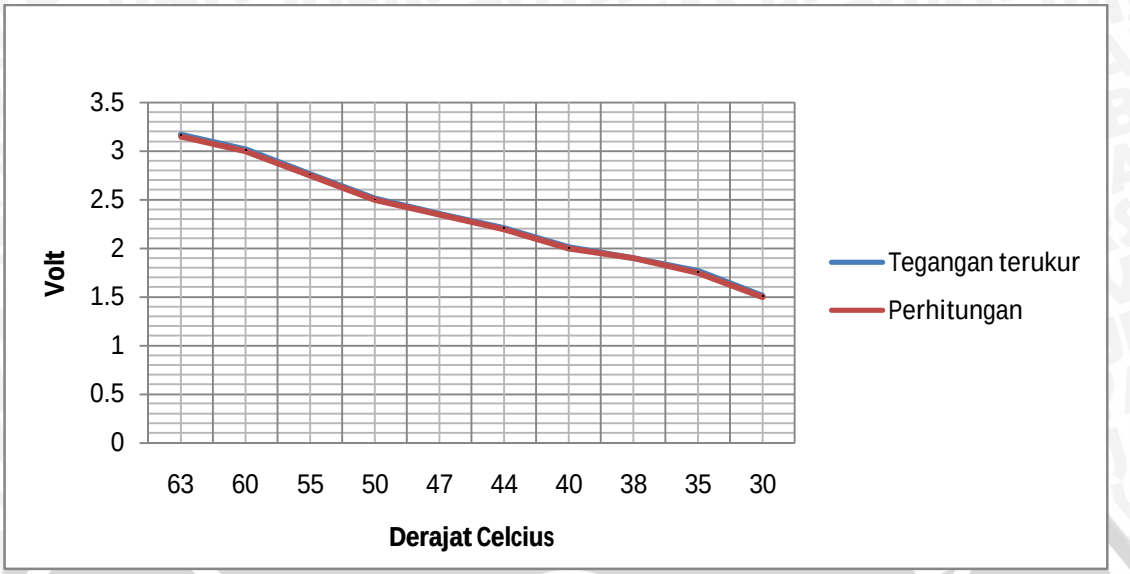
Sumber: Perancangan, 2013

Dengan mengatur nilai R_2 menjadi 250 ohm maka range pengukuran akan sesuai seperti yang diinginkan dengan penguatan 5 kali dengan tegangan dari 0 Volt hingga 5 Volt. Data dari hasil pengukuran ditunjukkan dalam tabel 7.

Tabel 7 Data hasil Pengukuran Suhu dengan Penguat Tak Membalik

Suhu (Derajat Celcius)	Tegangan Terukur (V)	Perhitungan (V)	Penyimpangan
63	3.17	3.15	0.63%
60	3.02	3	0.67%
55	2.76	2.75	0.36%
50	2.51	2.5	0.40%
47	2.35	2.35	0.00%
44	2.21	2.2	0.45%
40	2.01	2	0.50%
38	1.9	1.9	0.00%
35	1.77	1.75	1.14%
30	1.51	1.5	0.67%
Rata- rata Penyimpangan			0.48%

Data hasil yang ditunjukkan oleh tabel 7 menunjukkan bahwa pengukuran tegangan dengan penguatan yang dibandingakan dengan perhitungan yang didapatkan dengan mengalikan tegangan perhitungan dalam tabel 6 dengan gain, memiliki penyimpangan yang kecil. Grafik 3 dibawah menunjukkan bahwa selisih tegangan perhitungan dengan tegangan dengan penguatan hampir linier.



Grafik 3 Perbandingan Tegangan Terhadap Suhu

Sumber: Perancangan, 2013

5.5 Pengujian ADC

Bagian ADC merupakan bagian yang sangat penting pada suatu instrumentasi elektronika. Pengujian ini mewakili konversi ADC dengan resolusi 10 bit dari 2 buah sensor yang terdapat pada alat ini, ADC yang digunakan adalah ADC internal 10 bit. Pengujian ADC internal ini bertujuan untuk menguji apakah ADC internal ini dapat berfungsi dengan baik dalam mengubah tegangan analog menjadi bit- bit digital.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut:

1) Rangkaian Mikrokontroller ATMEGA8
2) Rangkaian 10 buah LED 5mm
3) USBASP sebagai downloader
4) *Central Proceessing Unit* (CPU)

Prosedur dalam Pengujian adalah sebagai berikut:

1) Hubungkan Rangkaian Atmega8 dengan USBASP
2) Hubungkan USBASP ke CPU
3) Unduh program kedalam mikrokontroller, potongan lising program adalah sebagai berikut:

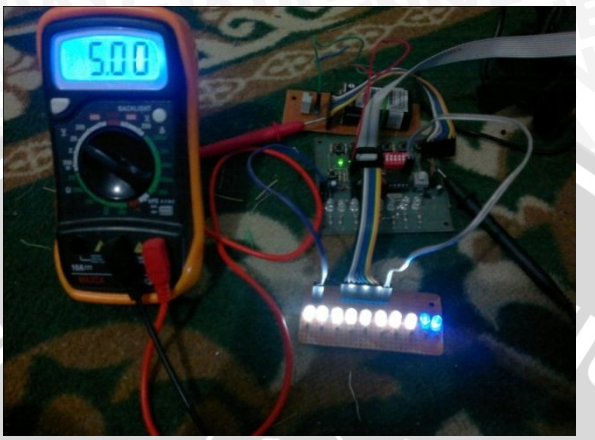
.....

```
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
delay_us(10);
// memulai proses konversi ADC
ADCSRA|=0x40;
// menunggu konversi hingga selesai
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCW;
}
.....
//Inisialisasi ADC
// Tegangan Refensi ADC: AREF pin
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x84;
.....


void main()
do
{
potensio=read_adc(0);
    PORTD=potensio;
    PORTB=potensio >> 7;
    }
while (1);
```

4) Amati dan tulis perubahan 10 buah led yang mewakili perubahan bit dengan merubah tegangan sebagai input.

Setelah setiap langkah telah dilakukan hasil pengujian ditunjukkan oleh gambar 5.8 dibawah.



Gambar 5. 8 Pengujian ADC 10 bit dengan 10 buah LED

Data konversi pada tabel 8 menunjukkan kerja ADC internal yang cukup baik dimana setiap perubahan tegangan dikonversi oleh ADC internal sesuai dengan nilai yang seharusnya

Tabel 8 Data konversi ADC dengan resolusi 10 bit

Tegangan	Tampilan LED	Desimal	Hex
5	1111111111	1023	3FF
4.5	1110011001	920.6	399
4	1100110010	818.4	332
3.5	1011001100	716	2CC
3	1001100110	613.6	266
2.5	1000000000	511.5	200
2	0110011001	409.2	199
1.5	0100110011	306.9	133
1	0011001101	204.6	CD
0.5	0001100110	102.3	66
0	0000000000	0	0

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa pada saat tegangan 5.00 volt sebagai range tegangan tertinggi setiap sensor. Dalam perancangan alat ini menunjukkan semua

LED hidup yang berarti dalam bilangan biner 1111111111 yang berarti dalam resolusi bit adalah 1023. Hal ini menunjukkan konversi ADC bekerja dengan baik.

5.6 Pengujian LCD

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui respon LCD terhadap program yang diberikan melalui Mikrokontroller. LCD dalam penelitian ini digunakan sebagai monitoring suhu dan berat dalam proses pengeringan. Sehingga tampilan LCD harus sesuai dengan kondisi pada proses pengeringan.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut:

1) LCD karakter 16x2
2) Rangkaian Mikrokontroller
3) USBASP sebagai downloader
4) Central Proceessing Unit (CPU)

Prosedur dalam Pengujian adalah sebagai berikut:

1) Hubungkan Rangkaian Atmega8 dengan USBASP seperti diagram rangkaian ditunjukkan oleh gambar 5.9

Gambar 5.9 Diagram Rangkaian Pengujian LCD

Sumber: Perancangan, 2013

2) Hubungkan LCD karakter 16x2 dengan rangkaian Atmega8
3) Hubungkan USBASP ke CPU
4) Unduh program kedalam mikrokontroller, potongan lising program adalah sebagai berikut:

```
....
// Alphanumeric LCD functions
#include <alcd.h>
.....
// Alphanumeric LCD initialization
```

```
// Connections are specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric LCD menu:
// RS - PORTD Bit 2
// RD - PORTD Bit 1
// EN - PORTD Bit 0
// D4 - PORTC Bit 3
// D5 - PORTC Bit 4
// D6 - PORTC Bit 5
// D7 - PORTD Bit 3
// Characters/line: 16
lcd_init(16);
Void main ()
{
While(1)
{
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("Silahkan Timbang");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("--Jamur Tiram --");
delay_ms(2000);
}
}
```

Hasil dari pengujian LCD karakter 16x2 ditunjukkan oleh gambar 5.10. LCD menunjukkan hasil yang sesuai dengan program yang diberikan.

Gambar 5.10 Hasil Pengujian LCD 16x2 karakter

Sumber: Perancangan, 2013

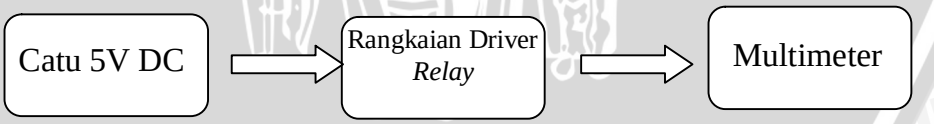
5.7 Pengujian Relay 5V

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kinerja rangkaian ini, besar tegangan suplai ke beban serta arus kumparan pada *relay*.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut:

1. Catu daya DC 5V
2. Rangkaian driver *relay*
3. Multimeter
4. Kabel penghubung

Pengujian dilakukan dengan mengukur arus kumparan pada kumparan *relay* serta mengukur tegngan pada output *relay*. Diagram blok pengujian driver *relay* ditunjukkan dalam gambar berikut



Gambar 5.11 Diagram Pengujian Rangkaian Driver Relay.

Sumber: Perancangan, 2013

Pengujian dilakukan menggunakan multimeter digital tipe ExCell DT9205A CD800a yang difungsikan sebagai voltmeter serta multimeter analog tipe ABB MA3E yang difungsukan sebagai amperemeter. Voltmeter dihubungkan paralel dengan pin *normally open* dan ground pada rangkaian driver *relay*, sedangkan amperemeter dihubungkan seri dengan tegangan sumber dan kumparan *relay*.

Hasil yang diharapkan adalah rangkaian switching mampu mensuplai tegangan dari sumber ke beban serta pada kumparan *relay* dialiri arus yang cukup untuk memindahkan koilnya.

Hasil pengujian tegangan suplai ke beban dan besar arus arus *relay* ditunjukkan dalam gambar 5.12

Gambar 5. 12 Hasil pengukuran tegangan suplai ke beban dan Arus kumparan pada relay

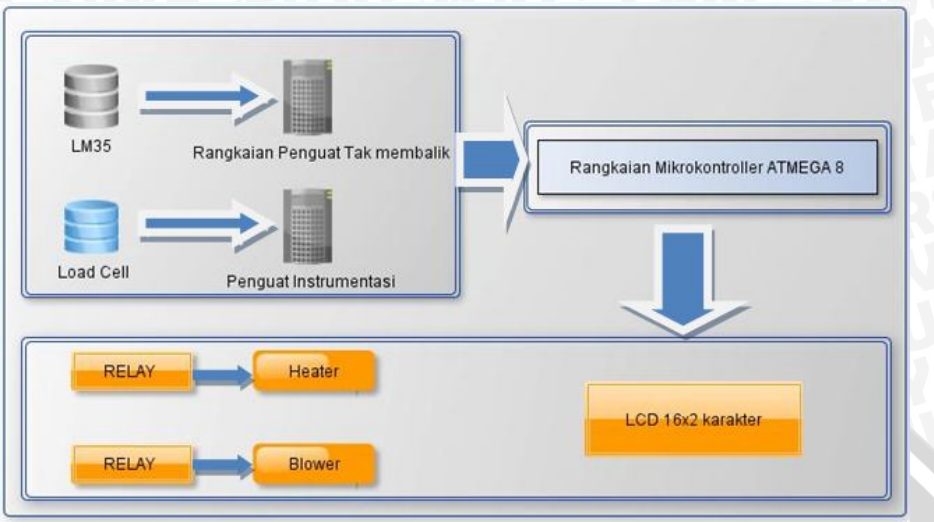
Sumber: Perancangan, 2013

Hasil pengujian menunjukkan bahwa arus yang melewati kumparan *relay* sebesar 84mA sudah cukup untuk mengaktifkan *relay*. Pada saat *relay* aktif beban akan menerima tegangan sebesar 4.94V. Tegangan ini berasal dari tegangan *accu* yang digunakan untuk mencatu blower.

Arus kumparan pada *relay* menyimpang 2,19mA (2,60%) dari perancangan sebesar 81,81mA. Kesalahan sebesar 2,60% masih dapat ditoleransi karena dengan arus sebesar 84mA driver *relay* akan berada pada kondisi saturasi dan mampu memindahkan koilnya sehingga *relay* aktif.

5.8 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem Alat Pengering setelah setiap bagian- bagian penyusun sistem dihubungkan menjadi suatu kesatuan yang utuh. Diagram blok pengujian sistem secara keseluruhan ditunjukkan oleh gambar 5.13.



Gambar 5. 13 Diagram Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Sumber: Perancangan, 2013

Pengujian dilakukan dengan menyusun bagian- bagian penyusun sistem menjadi satu kesatuan yg utuh seperti yg ditunjukkan pada gambar 5.13. Tahap pengujian dengan menghidupkan terlebih dahulu catu daya, setelah itu membuat perangkat lunak dengan menggunakan software code vision AVR sesuai dengan flowchart program yang telah dirancang sebelumnya. Listing program keseluruhan ditampilkan dalam lampiran.

Setelah tahap diatas, berikutnya adalah tahap penimbangan bahan jamur sebesar 500 gram. Setelah terpenuhi tekan tombol start dan mengamati perubahan berat setiap jam pada proses pengeringan jamur tiram.

Dari proses pengeringan menggunakan alat didapatkan data yang ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9 Data lama proses pengeringan

Jam	Berat (gram)				Rata- Rata
0	500	500	500	500	500
1	484	474	472	476	476.5
2	382	377	367	390	379
3	312	324	314	316	316.5
4	268	255	260	268	262.75
5	194	200	198	204	199
6	116	134	102	128	120
7	76	80	20	72	62
8	20	20		20	15
Rata- Rata Waktu					7.75 Jam

Pada interval jam 0- 1 terlihat pengeringan berlangsung sangat lamban, hal ini terjadi karena adanya proses pemanasan dari suhu ruang pada saat proses pengeringan yaitu sebesar 26 derajat celcius hingga suhu yang diinginkan yaitu sebesar 67- 69 derajat celcius. Proses pengeringan berlangsung selama 7- 8 jam dengan sample jamur sebesar 500 gram dan hasil kering sebesar 20 gram. Gambar proses pengeringan ditunjukkan pada gambar 5.14

Gambar 5. 14 proses pengeringan jamur tiram

Sumber: Perancangan, 2013

Sebagai perbandingan dilakukan juga pengeringan dengan menggunakan sinar matahari. Dalam proses pengeringan ini proses pengeringan berlangsung lebih lama dibandingkan dengan proses pengeringan menggunakan alat pengeringan. Dengan suhu rata- rata sebesar 29 derajat celcius proses pengeringan berlangsung selama 19-20 jam. Data proses pengeringan menggunakan sinar maahari langsung ditunjukkan pada tabel 10.

Tabel 10 Proses pengeringan Menggunakan sinar matahari

Jam	Berat (gram)				Rata-Rata
0	500	500	500	500	500
1	482	480	483	489	483.5
2	478	463	466	467	468.5
3	445	449	443	440	444.25
4	412	415	419	400	411.5
5	379	389	381	369	379.5
6	341	371	366	338	354
7	303	332	316	298	312.25
8	283	279	271	279	278
9	276	267	266	270	269.75
10	261	248	261	251	255.25
11	247	213	241	217	229.5
12	223	198	211	203	208.75
13	201	184	200	199	196
14	189	175	182	183	182.25
15	164	154	163	160	160.25
16	142	139	144	143	142
17	124	112	113	121	117.5
18	88	82	77	81	82
19	63	51	55	60	57.25
20	20	20	20	20	20

Dengan perbedaan hingga 12 jam pada dua metode proses pengeringan, jelas menggunakan alat pengeringan sangat effisien dalam segi waktu. Perbedaan hasil pengeringan jamur tiram dengan menggunakan matahari dan alat pengeringan ditunjukkan pada gambar 5.15

Gambar 5. 15 Hasil Pengeringan Menggunakan alat dan menggunakan sinar matahari

Sumber: Perancangan, 2013

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian "Alat Pengering Jamur Tiram Sebagai Alternatif Penjemuran Matahari" diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1) Alat ini dapat menampilkan proses selama pengeringan berlangsung dalam LCD 16x2 karakter dengan baik.
2) Penyimpangan rata- rata Load cell setelah dikuatkan sebesar 7.33%
3) Penyimpangan rata- rata sensor suhu LM35 sebelum dan sesudah dikuatkan berturut- turut adalah 0.54% dan 0.48%
4) Ketika suhu melampau batas suhu yang telah diatur, relay menghidupkan heater dan blower sesuai dengan kondisi.
5) Hasil pengeringan dengan alat memiliki waktu 7- 8 Jam dibandingkan dengan menggunakan sinar matahari langsung dengan waktu 19- 20 jam. Sehingga menggunakan alat memakan waktu lebih singkat dengan berat sebesar 20 gram dari sampel sebesar 500 gram.

6.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk meningkatkan sistem dan pengembangan dari "Alat Pengering Jamur Tiram Sebagai Alternatif Penjemuran Matahari" yang selanjutnya adalah sebagai berikut:

1) Penggunaan Load Cell yang lebih baik dan bagus memberikan ke akurat-an hasil dalam proses penimbangan.
2) Pemberian keypad agar bisa lebih bervariasi lagi dalam jumlah untuk mengeringkan jamur tiram
3) Pemberian *heater* lebih dari satu dapat mempercepat proses pencapaian suhu yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

Eger, G.; Eden, G.; Wissig, E. (1976): *Pleurotus ostreatus — breeding potential of a new cultivated mushroom*. Theor. Appl. Genetics. **47**, 155–163.

Fatimah, Yumi. 2006. *Pengeringan Jamur Tiram (Pleurotus Ostreatus) Menggunakan Oven Gelombang Mikro(Microwave Oven).*Repositort Institut Pertanian Bogor.Bogor

Henderson, D.R. and R.L. Perry. 1976. *Agricultural Process Engineering*. AVI.Pub.Co. Inc.Connecticut.

Thomas Andrew Black. 1968. *Hydraulic Load Cell Lysimeter, Construction, Calibration, Tests and Measurement of Evaporation and Drainage.* University of Wisconsin Madison.

Ihsan, Fathul. 2009. *Alat Pengukur Suhu dengan Output Suara Berbasi Mikrokontroller ARMEGA8535*.Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang

ITS repository. 2011. *Analisa Alat Pengering Jamur Tiram Putih Dengan Sumber Panas Energi Surya Tipe Dua Laluan Udara (Variasi Ketinggian Cerobong).*http://digilib.its.ac.id/ITS-NonDegree-3100011042904/15439, *(*diakses tanggal 1 april 2013)

Jaelani. 2008. *Jamur Berkhasiat Obat.* Pustaka Obor Populer. Jakarta

Kurniawan, Dayat. 2009. *ATMega 8 danAplikasinya*. PTElex MediaKomputindo. Jakarta.

Steinkraus, K.H., B.H. yap, J.P. Van buren, M.I.Providensi, and D.B. Hand. 1985. *Studies on Tempeh on Indonesian Fermeted Food*. FoodRes, Vol. 6:277

Sumarsih, Sri. 2010. *Untung Besar Usaha Bibit Jamur Tiram.* Penebar Swadaya. Jakarta

Suriawiria, Unus. 2010. *Budidaya Jamur Tiram.*Kanisius. Jakarta

Tulek. Y. 2011. *Drying Kinetics of Oyster Mushroom (Pleurotus ostreatus) in a Convective Hot Air Dryer*. J. Agr. Sci. Tech. Vol. 13: 655-664