

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGERING
SALE PISANG MENGGUNAKAN KENDALI PI
(PROPORSIONAL-INTEGRAL)**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

RISTY JAYANTI YUNIAR

NIM. 0610630092-63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2010

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGERING
SALE PISANG MENGGUNAKAN KENDALI PI
(PROPORSIONAL-INTEGRAL)**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

RISTY JAYANTI YUNIAR
NIM. 0610630092-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Fitriana Suhartati, ST., MT.

NIP. 19741017 199802 2 001

Ir. Retnowati, MT.

NIP. 19511224 198203 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENERING
SALE PISANG MENGGUNAKAN KENDALI PI
(PROPORSIONAL-INTEGRAL)**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**RISTY JAYANTI YUNIAR
NIM. 0610630092-63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 14 Desember 2010

DOSEN PENGUJI

Ir. Purwanto, MT.
NIP. 19540424 198601 1 001

Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT.
NIP. 19711013 200604 1 001

Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allâh Subhanahu Wa Taâla, Rabb alam semesta. Dialah Allâh, Tuhan Yang Maha Satu, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Dialah Sebaik baik Penolong dan Sebaik baik Pelindung. Shalawat dan salâm kepada Nabi Muhammad Rasulullâh Shallallâhu Alaihi Wa Salâm, pemilik syafaât di Hari Akhir, sang pembawa kabar gembira dan sebaik baik suri tauladan bagi yang mengharap Rahmat dan Hidayah-Nya.

Sungguh hanya melalui Pertolongan dan Perlindungan Allâh SWT semata sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan seizin Allâh SWT, di kesempatan yang baik ini kami ingin menghaturkan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas bantuan sehingga terselesainya skripsi ini kepada:

1. Bapak Rudy Yuwono, ST., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Bapak Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Fitriana Suhartati, ST., MT dan Ir. Retnowati, MT selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak waktu, keikhlasan, dan kesabaran dalam membimbing.
3. Bapak Waru Djuriatno, ST., MT selaku dosen pembimbing akademik.
4. Keluarga terkasih, Drs. Sutrisno, MM dan Kustiyami Kusumawati yang selalu memberi doa & kasih sayang tiada hentinya, Silvia Monica Sheren dan Syeila Rossalia yang selalu menjadi motivasiku untuk selalu membahagiakan kalian semua.
5. Rizcky Gandarrityaz, terima kasih atas segala dukungan, pengertian, kesabaran dan kasih sayangnya.
6. Keluarga besar Laboratorium Sistem Kontrol, Yusron, Aldo, Ravi, Tasha, mbak siska, mas-mas asisten 2005 dan adik-adik asisten 2007 terima kasih telah memberikan banyak pengetahuan dalam belajar dan berkreasi.
7. Keluarga besar Angkatan 2006 "Ge- Force". Untuk para sahabatku tersayang Nungky, Nisa, Ella, Nindy, Lunde, Rendy Lucki, Hipni, Ninun, Mety, Ichank, Nuki, Adisty, Revi, Lina, Minie Rara, Tya, Danti, Kniez, Rendiq terima kasih telah



berbagi kebahagiaan, pelajaran hidup, serta canda dan tawa yang tidak akan pernah saya lupakan.

8. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Sekiranya Allâh SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, kami menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Allâhumma Amîn.

Malang, Oktober 2010

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI..... iii

DAFTAR GAMBAR..... vii

DAFTAR TABEL.....ix

ABSTRAK x

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan 3

1.5 Sistematika Pembahasan 3

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar Pengerinan 4

2.2 Kontroler 5

 2.2.1 Kontroler Proporsional 6

 2.2.2 Kontroler Integral 7

 2.2.3 Kontroler Proporsional-Integral 7

 2.2.4 Kontroler Proporsional-Integral Digital 8

2.3 Perancangan Kontroler Menggunakan Metode *Ziegler-Nichols* . 8

 2.3.1 Metode Pertama 9

 2.3.2 Metode Kedua 11

2.4 Sensor Suhu 12

2.5 *Load Cell* 13

2.6 Pemanas (*Heater*) 13

2.7 Mikrokontroler AT89S51 13

 2.7.1 Konfigurasi Pin 16

 2.7.2 Struktur dan Operasi *Port* 17

 2.7.3 Organisasi Memori 18



2.7.4	<i>Reset</i>	19
2.8	Pengkondisi Sinyal.....	20
2.8.1	Penguat Operasional.....	20
2.8.2	Penguat Tak Membalik (<i>Non Inverting Amplifier</i>).....	21
2.9	Transistor.....	22
2.9.1	Persamaan Transistor.....	22
2.9.2	Garis Beban DC.....	23
2.9.3	Saklar Transistor.....	24

BAB III METODOLOGI

3.1	Studi Literatur.....	25
3.2	Perancangan Sistem.....	26
3.3	Realisasi Pembuatan Sistem.....	26
3.4	Pengujian dan Analisis Data.....	26
3.5	Pengambilan Kesimpulan.....	27

BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

4.1	Perancangan Sistem.....	28
4.1.1	Diagram Blok Sistem.....	28
4.1.2	Prinsip Kerja Alat.....	29
4.2	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	29
4.2.1	Rangkaian Driver Sensor Massa dan Sensor Massa.....	29
4.2.2	Rangkaian Pengukur Suhu.....	31
4.2.3	Rangkaian ADC.....	32
4.2.4	Rangkaian <i>Zero Crossing Detector</i>	34
4.2.5	Driver <i>Heater</i>	35
4.2.6	<i>Memory</i> AT24C16.....	35
4.2.7	Mikrokontroler AT89S51.....	36
4.2.8	LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	38
4.2.9	Driver <i>Fan</i> dan <i>Buzzer</i>	38
4.2.10	Keypad.....	39

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

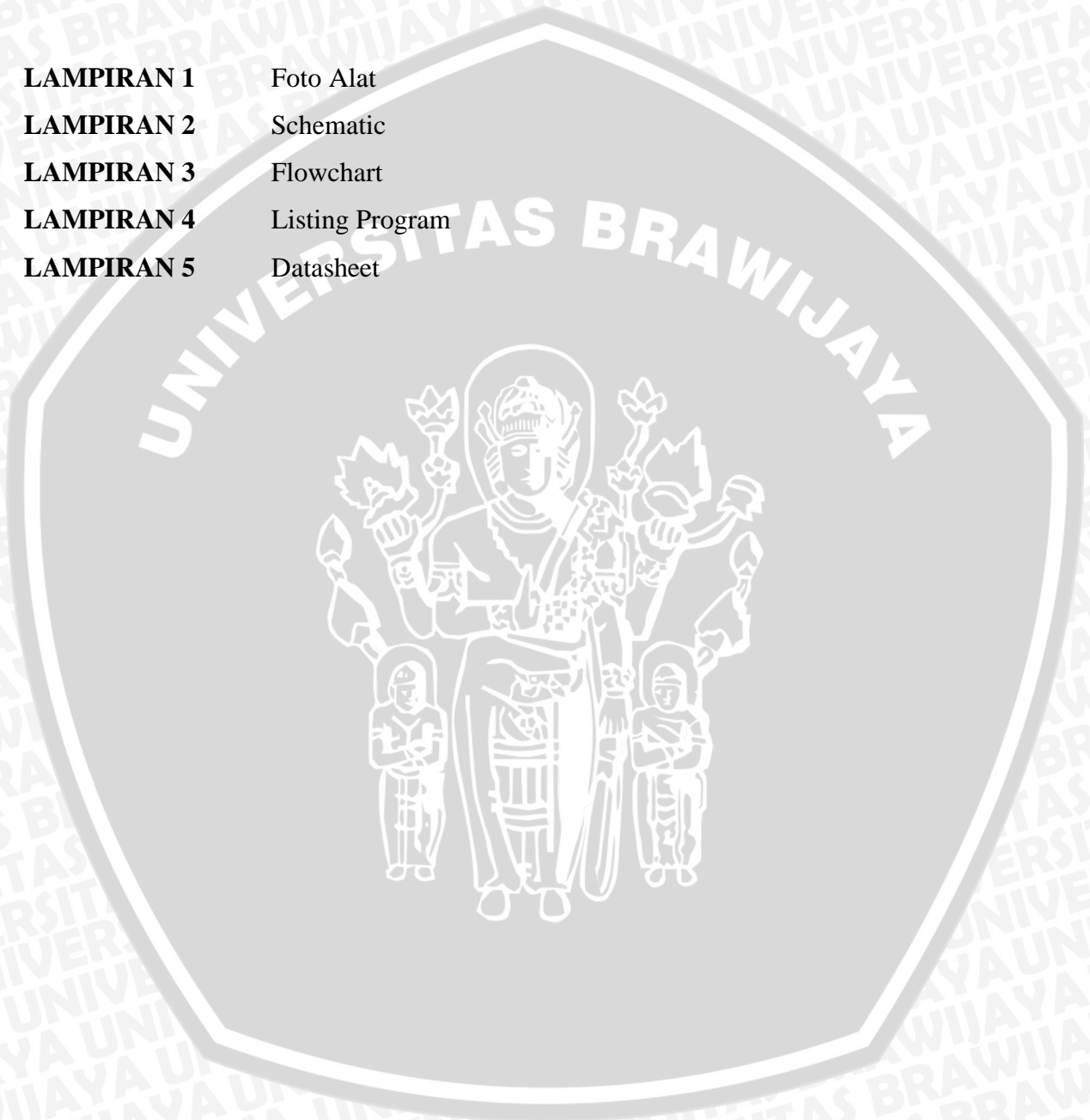
5.1	Pengujian Sensor Suhu	40
5.1.1	Tujuan Pengujian.....	40
5.1.2	Peralatan Pengujian	40
5.1.3	Langkah Pengujian	40
5.1.4	Hasil Pengujian dan Analisis	41
5.2	Pengujian Sensor Massa (<i>Load Cell</i>)	43
5.2.1	Tujuan Pengujian.....	43
5.2.2	Peralatan Pengujian	43
5.2.3	Langkah Pengujian	43
5.2.4	Hasil Pengujian dan Analisis	44
5.3	Pengujian Rangkaian ADC PCF8591	44
5.3.1	Tujuan Pengujian.....	44
5.3.2	Peralatan Pengujian	44
5.3.3	Langkah Pengujian	45
5.3.4	Hasil Pengujian dan Analisis	45
5.4	Pengujian Mikrokontroler	47
5.4.1	Tujuan Pengujian.....	47
5.4.2	Peralatan Pengujian	47
5.4.3	Langkah Pengujian	47
5.4.4	Hasil Pengujian dan Analisis	48
5.5	Pengujian Sistem LCD	48
5.5.1	Tujuan Pengujian.....	48
5.5.2	Peralatan Pengujian	48
5.5.3	Langkah Pengujian	48
5.5.4	Hasil Pengujian dan Analisis	48
5.6	Pengujian Sistem Secara Keseluruhan	49
5.6.1	Tujuan Pengujian.....	49
5.6.2	Peralatan Pengujian	49
5.6.3	Langkah Pengujian	49
5.6.4	Hasil Pengujian dan Analisis	49

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan	53
6.2 Saran	53

DAFTAR PUSTAKA	54
----------------------	----

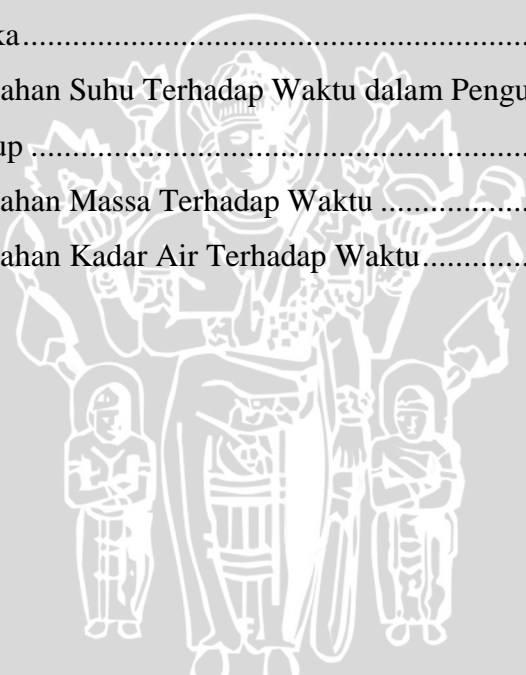
LAMPIRAN 1	Foto Alat
LAMPIRAN 2	Schematic
LAMPIRAN 3	Flowchart
LAMPIRAN 4	Listing Program
LAMPIRAN 5	Datasheet



DAFTAR GAMBAR

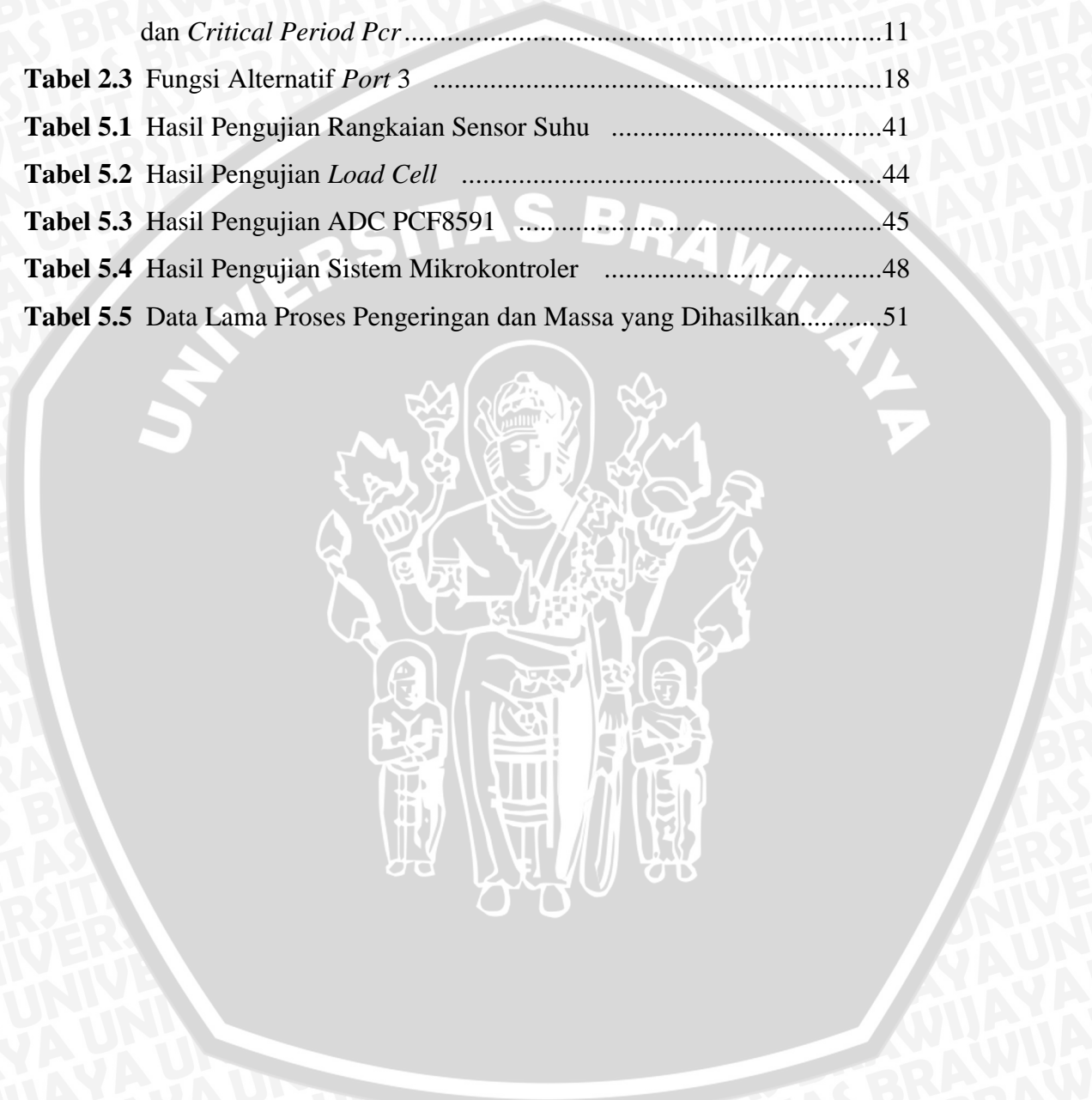
Gambar 2.1	Diagram Alir Pembuatan Sale Pisang	5
Gambar 2.2	Diagram Blok Kontroler Proporsional	6
Gambar 2.3	Diagram Blok Kontroler Integral	7
Gambar 2.4	Diagram Blok Kontroler Proporsional-Integral (PI)	7
Gambar 2.5	Kurva Respon Unit <i>Step</i> yang Menunjukkan 25% <i>Maximum Overshoot</i>	9
Gambar 2.6	Respon <i>Plant</i> Terhadap Masukan Berupa Unit <i>Step</i>	9
Gambar 2.7	Kurva Respon yang Berbentuk S	10
Gambar 2.8	Sistem <i>Loop</i> Tertutup dengan Kontroler Proporsional	11
Gambar 2.9	Osilasi Berkesinambungan dengan Periode <i>Pcr</i>	11
Gambar 2.10	Skema LM35	12
Gambar 2.11	LM35 dengan <i>Decouple</i> Resistor dan LM35 dengan RC <i>Damper</i>	12
Gambar 2.12	<i>Load Cell</i> Tipe Balok	13
Gambar 2.13	Diagram Blok AT89S51	15
Gambar 2.14	Konfigurasi Pin AT89S51	16
Gambar 2.15	Struktur Memori MCS-51	19
Gambar 2.16 (a)	Rangkaian <i>Power On Reset</i>	20
Gambar 2.16 (b)	Rangkaian Ekuivalen <i>Power On Reset</i>	20
Gambar 2.17	Penguat Op-Amp	20
Gambar 2.18	Penguat Tak Membalik	21
Gambar 2.19	Transistor NPN	22
Gambar 2.20 (a)	Bias Basis Transistor	23
Gambar 2.20 (b)	Garis Beban DC	23
Gambar 4.1	Diagram Blok Sistem.....	28
Gambar 4.2	Rangkaian Sensor Massa	30
Gambar 4.3	Rangkaian Pengkondisi Sinyal untuk LM35.....	31
Gambar 4.4	Rangkaian PCF8591	33
Gambar 4.5	Rangkaian <i>Zero Crossing Detector</i>	34
Gambar 4.6	Rangkaian Driver <i>Heater</i>	35
Gambar 4.7	Rangkaian <i>Memory</i> AT24C16.....	35

Gambar 4.8 Rangkaian AT89S51.....	36
Gambar 4.9 Rangkaian LCD	38
Gambar 4.10 Rangkaian Driver <i>Fan</i> dan <i>Buzzer</i>	38
Gambar 4.11 Rangkaian Keypad.....	39
Gambar 5.1 Diagram Blok Pengujian Rangkaian Sensor Suhu	41
Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Antara Kondisi Suhu V_{out} pada Sensor Suhu	42
Gambar 5.3 Diagram Blok Pengujian Sensor Massa.....	43
Gambar 5.4 Diagram Blok Pengujian Mikrokontroler	47
Gambar 5.5 Gambar Tampilan LCD pada Alat.....	48
Gambar 5.6 Grafik Perubahan Suhu Terhadap Waktu dalam Pengujian <i>Loop</i> Terbuka.....	50
Gambar 5.7 Grafik Perubahan Suhu Terhadap Waktu dalam Pengujian <i>Loop</i> Tertutup	51
Gambar 5.8 Grafik Perubahan Massa Terhadap Waktu	52
Gambar 5.9 Grafik Perubahan Kadar Air Terhadap Waktu.....	52



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penalaan <i>Ziegler-Nichols</i> Berdasarkan Respon Unit <i>Step</i> dari <i>Plant</i>	6
Tabel 2.2 Aturan Dasar <i>Ziegler-Nichols</i> Berdasarkan <i>Critical Gain Kcr</i> dan <i>Critical Period Pcr</i>	11
Tabel 2.3 Fungsi Alternatif <i>Port 3</i>	18
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Suhu	41
Tabel 5.2 Hasil Pengujian <i>Load Cell</i>	44
Tabel 5.3 Hasil Pengujian ADC PCF8591	45
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Sistem Mikrokontroler	48
Tabel 5.5 Data Lama Proses Pengeringan dan Massa yang Dihasilkan.....	51



ABSTRAK

RISTY JAYANTI YUNIAR, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, 2010, Perancangan dan Pembuatan Alat Pengering Sale Pisang Menggunakan Kendali PI, Dosen Pembimbing: Fitriana Suhartati, ST., MT. dan Ir. Retnowati, MT.

Sale pisang merupakan jenis makanan yang dibuat dari buah pisang matang yang diawetkan dengan cara pengeringan sampai tingkat kadar air tertentu, sekitar 15-20 persen. Selama ini cara yang lazim digunakan untuk pengeringan sale pisang adalah dengan cara dijemur dibawah sinar matahari dan memerlukan waktu kurang lebih 7 hari. Cara ini sangat tidak praktis dan tidak efektif karena memerlukan waktu yang lama, tidak dapat dilakukan pada musim penghujan dan rawan gangguan hama seperti jamur serta mudah terkontaminasi. Oleh karena itu diperlukan sebuah sistem kendali yang dapat membantu proses pengeringan sale pisang dengan memperhatikan faktor suhu serta aman dari pengaruh hama. Dalam skripsi ini digunakan kendali kontroler PI karena pemakaiannya yang telah banyak dan relatif mudah. Metode *Ziegler-Nichols* pada aturan penalaan pertama digunakan untuk menentukan parameter kontroler. Parameter ini diperoleh untuk menentukan nilai *gain* proporsional K_p dan *gain* integral K_i . Dalam perencanaan dan pembuatannya digunakan mikrokontroler AT89S51, sensor suhu LM35, sensor massa *load cell*. Hasil pengujian terhadap aplikasi kontroler PI ini menunjukkan bahwa untuk mencapai waktu penetapan (t_s) diperlukan waktu 350s dengan suhu ruang pada set point 65°C dan set point massa 70%. Proses pengeringan berlangsung selama 8 jam dengan menurunkan kadar air buah pisang sebanyak 20%.

Kata kunci : sale pisang, suhu, massa, kontroler PI, *Ziegler-Nichols*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pisang merupakan salah satu tanaman hortikultura yang penting di dunia karena potensi produksinya yang cukup besar. Pisang sejak lama dikenal sebagai buah yang lezat dan berkhasiat bagi kesehatan. Negara-negara penghasil pisang yang terkenal di antaranya adalah Brasil, Filipina, Panama, Honduras, India, Equador, Thailand, Kolumbia, Kosta Rica, Meksiko, Karibia, Pantai Gading, Uganda, dan Hawaii. Iklim tropis yang sesuai serta kondisi tanah yang banyak mengandung humus memungkinkan tanaman pisang tersebar luas di Indonesia. Hampir seluruh wilayah Indonesia merupakan daerah penghasil pisang. Sentra produksi pisang adalah di Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jambi, Sumatera Selatan, Lampung, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Bali, dan Nusa Tenggara Barat.

Pisang dapat dibedakan atas empat golongan, yaitu: (1) pisang yang dapat dimakan langsung (contohnya pisang kepok, susu, hijau, emas, raja), (2) pisang yang dapat dimakan setelah diolah terlebih dahulu (contohnya pisang tanduk, oli, kapas, bangkahulu), (3) pisang yang dapat dimakan langsung setelah masak maupun diolah terlebih dahulu (contohnya pisang kepok dan raja), (4) pisang yang dapat dimakan sewaktu masih mentah (pisang klutuk dan batu untuk dibuat rujak).

Pisang telah lama akrab dengan masyarakat Indonesia, terbukti dari seringnya pohon tersebut digunakan sebagai perlambang dalam berbagai upacara adat. Walaupun demikian, pemanfaatan pisang sejauh ini masih sangat terbatas, umumnya dimakan sebagai buah segar. Padahal, buah pisang dapat diolah dalam keadaan mentah maupun matang. Pisang mentah dapat diolah menjadi gaplek, tepung, dan keripik, sedangkan pisang matang dapat diolah menjadi anggur, sari buah, digoreng, direbus, kolak, getuk, selai, dodol, pure, saus, dan sale.

Salah satu upaya untuk menanggulangi kelebihan produksi dan pemasaran pisang segar adalah dengan melakukan pengawetan menjadi sale. Sale pisang telah lama dikenal sebagai makanan tradisional khas Jawa Barat. Selain untuk memperpanjang masa simpan, sale juga meningkatkan harga jual dibandingkan dengan buah pisang segarnya.

Sale merupakan jenis makanan yang dibuat dari buah pisang matang yang diawetkan dengan cara pengeringan sampai tingkat kadar air tertentu, sekitar 15-20 persen. Ada tiga cara pembuatan sale pisang, yaitu: cara tradisional dengan memakai asap kayu, cara pengasapan menggunakan asap belerang, serta cara basah menggunakan natrium bisulfit. Selama ini cara yang lazim digunakan untuk pengeringan adalah dengan cara dijemur dibawah sinar matahari dan memerlukan waktu kurang lebih 7 hari. Cara ini sangat tidak praktis dan tidak efektif karena memerlukan waktu yang lama, tidak dapat dilakukan pada musim penghujan dan rawan gangguan hama seperti jamur serta mudah terkontaminasi.

Oleh karena itu diperlukan sebuah sistem kendali yang dapat membantu proses pengeringan sale pisang dengan memperhatikan faktor suhu serta aman dari pengaruh hama. Pada penelitian ini proses pengeringan sale memanfaatkan kontroler PI sebagai kontroler otomatisnya. Kelebihan sistem kontroler ini adalah sistem ini telah banyak dipakai dan pemakaiannya relatif mudah.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas, maka didapatkan perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat alat pengering pada pembuatan sale pisang.
2. Bagaimana merancang kontroler PI untuk mengendalikan suhu pada ruang pengering sale pisang.

1.3 Batasan Masalah

Karena begitu luasnya objek kajian maka perlu dilakukan batasan masalah agar pembahasan lebih terfokus pada rumusan masalah. Adapun batasan masalah dalam skripsi ini adalah:

1. Menggunakan mikrokontroler AT89S51 sebagai pusat pengontrol dengan kendali kontroler PI.
2. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu LM35 dengan jangkauan suhu - 55°C sampai 150°C dan detektor massa *load cell* dengan jangkauan maksimal 5 kg.

3. Proses pengeringan hanya dilakukan terhadap jenis pisang ambon yang sudah matang di pohon dan masih keras sehingga akan menghasilkan sale pisang yang berkualitas.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah membuat dan merancang alat untuk membantu proses pengeringan sale pisang yang lebih baik dan lebih efektif dalam proses produksinya, sehingga alat ini nantinya juga bisa diterapkan walaupun dalam skala kecil menengah.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Tinjauan Pustaka berisi dasar teori penunjang penelitian. Pustaka yang diambil adalah pustaka yang relevan dan sesuai serta mendukung penelitian, seperti buku-buku ilmu pengaturan, dan lain-lain. Selain dari buku pustaka juga akan diambil dari jurnal, *internet* dan sumber pengetahuan yang lain.

BAB III Metodologi

Membahas metode penelitian dan perencanaan alat.

BAB IV Perancangan Sistem

Membahas perancangan sistem pengendalian proses pengeringan dengan kontroler PI. Setelah itu, bagaimana menerapkannya dalam sistem secara keseluruhan.

BAB V Pengujian Alat

Membahas hasil pengujian sistem terhadap alat yang telah direalisasikan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Membahas kesimpulan perancangan ini dan saran-saran yang diperlukan untuk melakukan pengembangan aplikasi selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar Pengeringan

Pisang banyak mengandung protein yang kadarnya lebih tinggi daripada buah-buahan lainnya, namun buah pisang mudah busuk. Untuk mencegah pembusukan dapat dilakukan pengawetan, misalnya dalam bentuk keripik, dodol, sale, anggur, dan lain-lain. Pada dasarnya semua jenis pisang dapat diolah menjadi sale pisang tetapi untuk mendapat hasil yang memuaskan biasanya dipilih jenis pisang seperti: pisang ambon, pisang raja dan pisang emas.

Sale merupakan jenis makanan yang terbuat dari buah pisang matang yang diawetkan dengan cara pengeringan sampai tingkat kadar air tertentu, sekitar 15-20 persen. Secara umum, kandungan gizi yang terdapat dalam 100 gram pisang ambon matang adalah sebagai berikut: kalori 110 kalori, protein 1,2 gram, lemak 0,2 gram, karbohidrat 25,8 gram, serat 0,7 gram, kalsium 8 mg, fosfor 28 mg, besi 0,5 mg, vitamin B1 44 mcg, Vitamin B2 0,08 mg, Vitamin C 3 mg dan air 72 gram. (Direktorat Gizi Depkes RI,1979)

Ada tiga cara pembuatan sale pisang, yaitu: cara tradisional dengan memakai asap kayu, cara pengasapan menggunakan asap belerang, serta cara basah menggunakan natrium bisulfit. Sale pisang yang dihasilkan hanya mencapai 25% atau seperempat bagian dari berat pisang utuh (masih ada kulitnya). Jenis pisang yang sering dibuat sale adalah pisang ambon. (Standar Prosedur Operasional Pengolahan Pisang,2009)

Proses pembuatan sale pisang adalah sebagai berikut: Pisang yang telah tua dan matang dikupas kulitnya, dikerok sedikit bagian luarnya hingga bersih. Proses tersebut bertujuan untuk menghilangkan lapisan tanin yang terdapat pada permukaan pisang, sehingga sale yang dihasilkan berwarna cokelat mengkilap dan tidak sepat. Tanin yang tidak dihilangkan akan menghasilkan sale yang berwarna hitam. Untuk mendapatkan warna sale yang tidak terlalu cokelat, pisang dapat direndam dalam larutan natrium bisulfit (15 gram dalam satu liter air) selama 10 menit. Pisang diletakkan di atas tampah, dimasukkan ke dalam lemari pengasapan. Pisang diasapkan dengan menggunakan asap kayu bakar atau asap belerang selama dua jam. Proses pengasapan dengan belerang bertujuan untuk memucatkan pisang supaya diperoleh warna yang dikehendaki, mematikan mikroba (jamur dan bakteri), serta mencegah perubahan warna.

Pisang dijemur di atas rak yang beralaskan merang selama 5-7 hari. Proses pengeringan akan berpengaruh terhadap kadar air, nilai gizi, aktivitas enzim jasad renik, dan warna sale pisang. Diagram alir pembuatan sale pisang dapat dalam Gambar 2.1. Pengeringan dapat dilakukan dengan sinar matahari atau menggunakan alat pengering buatan (oven) dengan suhu sekitar 65°C untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Sambil dijemur sewaktu-waktu pisang dipipihkan dengan kayu berbentuk silinder atau bambu sampai ketebalan yang dikehendaki (<http://digilib.itb.ac.id>).



Gambar 2.1 Diagram Alir Pembuatan Sale Pisang
Sumber: <http://www.iptek.net.id>, Maret 2010

2.2 Kontroler

Sistem pengaturan dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengaturan adalah harus stabil, disamping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolak ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan. Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespon *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan kesetimbangan di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem tidak stabil jika *output* nya berisolasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan.

Dalam pengontrolan terdapat 2 macam pengaturan:

1. Pengaturan dengan *loop* terbuka

Sistem kontrol *loop* terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol *loop* terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpkan balikan untuk dibandingkan dengan masukan.

2. Pengaturan dengan *loop* tertutup

Sistem kontrol *loop* tertutup adalah sistem kontrol yang keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Disebut juga sistem kontrol yang menggunakan umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.

2.2.1 Kontroler Proporsional

Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

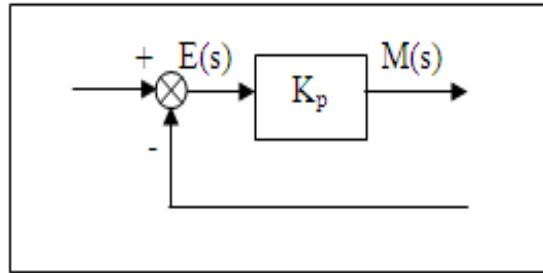
$$m(t) = K_p e(t) \quad (2-1)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (2-2)$$

di mana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur. Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



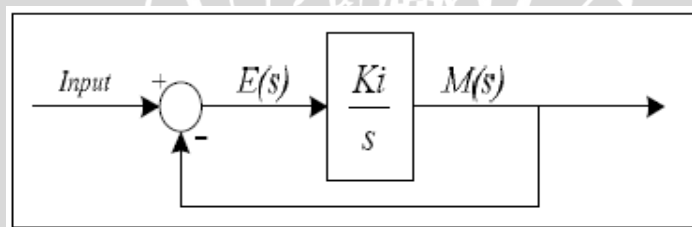
Gambar 2.2 Diagram Blok Kontroler Proporsional
 Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

2.2.2 Kontroler Integral

Pada kontroler dengan aksi integral, harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$.

Jadi,
$$\frac{dm(t)}{dt} = Kie(t) \tag{2-3}$$

Jika harga $e(t)$ diduakalikan, maka harga $m(t)$ berubah dengan laju perubahan menjadi duakali semula. Jika kesalahan penggerak nol, maka harga $m(t)$ tetap stasioner. Aksi kontrol integral seringkali disebut kontrol “reset”. Gambar 2.3 menunjukkan diagram blok kontroler integral.



Gambar 2.3 Diagram Blok Kontroler Integral
 Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

2.2.3 Kontroler Proporsional-Integral (PI)

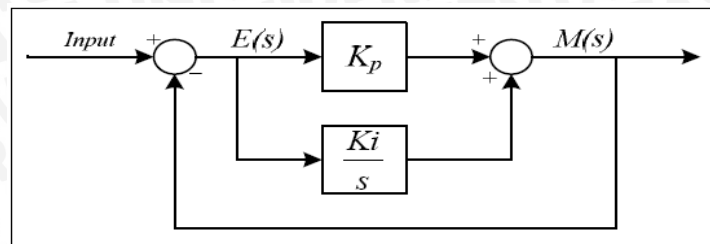
Terjadinya *offset* pada penggunaan kontroler proporsional menyebabkan diperlukannya mencari alternatif kontroler yang lain. Maka digunakanlah kontroler integral. Namun, karena kelambatan reaksinya, maka kontroler integral biasanya dipakai bersama dengan kontroler proporsional menjadi kontroler proporsional-integral (PI).

Dengan demikian, maka kontroler proporsional-integral (PI) dapat menghasilkan respon yang lebih cepat dari kontroler integral, dan dapat juga menghilangkan *offset* yang ditimbulkan oleh kontroler proporsional. Aksi kontroler proporsional-integral (PI) dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p / T_i e(t) dt \quad (2-4)$$

atau dalam transformasi Laplace dinyatakan dengan:

$$M(s) / E(s) = K_p (1 + 1/T_i s) \quad (2-5)$$



Gambar 2.4 Diagram Blok Kontroler Proporsional-Integral (PI)

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

Gambar 2.4 merupakan diagram blok kontroler proporsional-integral (PI) di mana K_p menyatakan penguatan proporsional, K_i menyatakan konstanta integral, dan T_i menyatakan waktu integral. Nilai K_p maupun T_i dapat diatur.

2.2.4 Kontroler Proporsional-Integral (PI) Digital

Pengendali Proporsional-Integral (PI) dapat disusun secara matematis menjadi PI diskrit. Persamaan pengendali PI sebagai berikut:

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2-6)$$

Dengan menggunakan pendekatan integrasi secara trapezoidal didapat

$$K_i \int_0^{kT} e(t) dt = K_i \frac{T}{2} \sum \{e[(k-1)T] + e(kT)\} \quad (2-7)$$

Maka didapat persamaan pengendali PI diskrit:

$$m(kT) = K_p e(kT) + K_i \frac{T}{2} \sum \{e[(k-1)T] + e(kT)\} \quad (2-8)$$

Dengan mengganti indeks dari k hingga k-1 didapatkan:

$$m(k) - m(k-1) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i \frac{T}{2} [e(k) + e(k-1)] \quad (2-9)$$

$m(k)$: nilai masukan suhu sekarang

$m(k-1)$: nilai masukan suhu sebelumnya

$e(k)$: nilai error sekarang

$e(k-1)$: nilai error sebelumnya

$$a_0 = K_p + K_i \frac{T}{2} \quad (2-10)$$

$$a_1 = -K_p + K_i \frac{T}{2} \quad (2-11)$$

maka didapatkan:

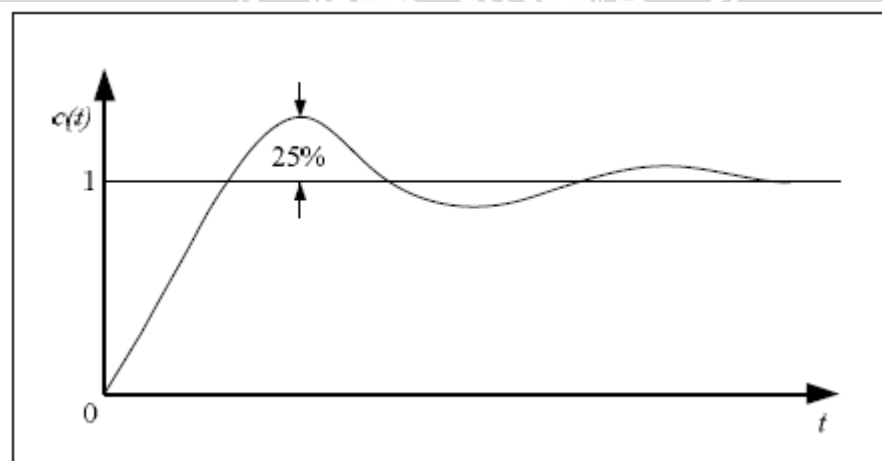
$$m(k) - m(k-1) = a_0 e(k) + a_1 e(k-1) \quad (2-12)$$

Persamaan 2-12 dapat digunakan sebagai algoritma sistem pengendalian proporsional-integral (PI) secara digital.

2.3 Perancangan Kontroler Menggunakan Metode Ziegler-Nichols

Ziegler-Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler atau penalaan kontroler tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan *plant*. (Ogata, K., 1997)

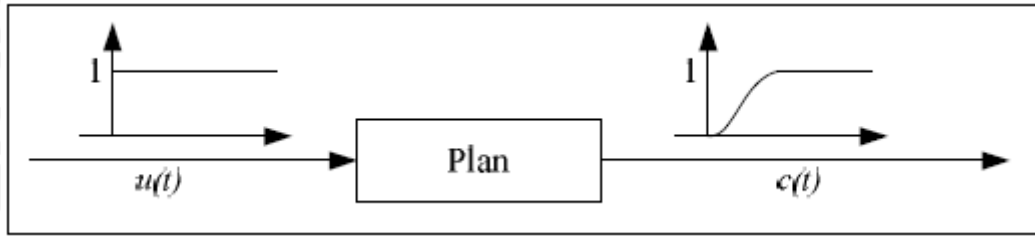
Terdapat dua metode yang disebut dengan metode yang disebut dengan aturan penalaan *Ziegler-Nichols*, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% *maximum overshoot* pada respon unit *step*, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva Respon Unit *Step* yang Menunjukkan 25% *Maximum Overshoot*
Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

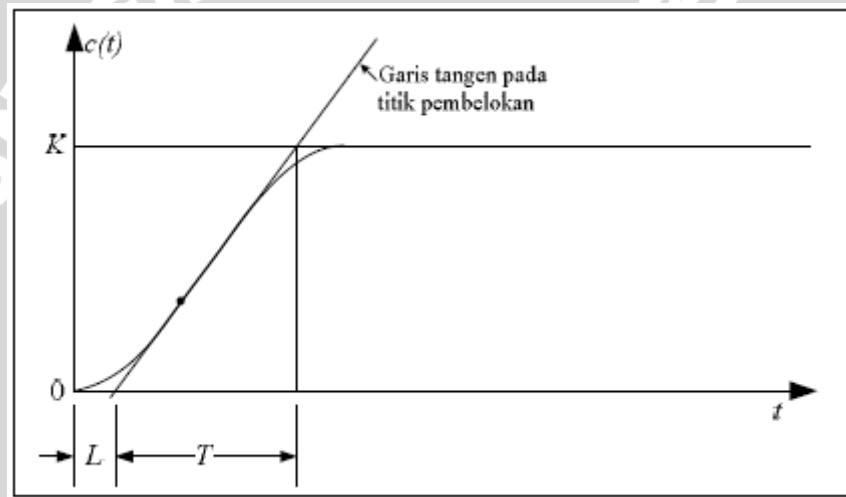
2.3.1 Metode Pertama

Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari *plant* dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa unit *step*, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Respon *Plant* Terhadap Masukan Berupa Unit *Step*
 Sumber: Ogata, K., 1997

Jika dalam *plant* tersebut terdapat integrator, maka kurva respon unit *step* berbentuk seperti huruf S, seperti dalam Gambar 2.7. Jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku. (Ogata, K., 1997).



Gambar 2.7 Kurva Respon yang Berbentuk S
 Sumber: Ogata, K., 1997

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.7.

Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ks^{-L}}{Ts+1} \tag{2-13}$$

Ziegler-Nichols menyarankan untuk menentukan nilai K_p , T_i , dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1. (Ogata, K., 1997)

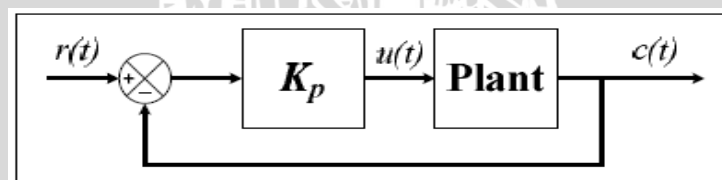
Tabel 2.1. Penalaan *Ziegler-Nichols* Berdasarkan Respon Unit Step dari *Plant*

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

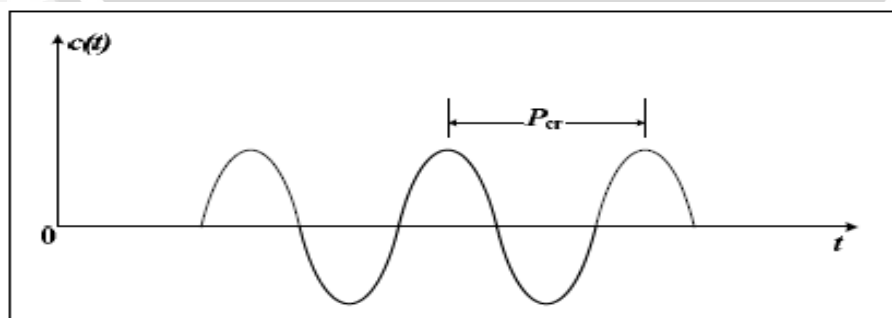
Sumber: Ogata, K., 1997

2.3.2 Metode Kedua

Dalam metode kedua *Ziegler-Nichols*, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontroler proporsional yang ditunjukkan dalam Gambar 2.8, harga K_p ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan yang ditunjukkan dalam Gambar 2.9, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan. *Ziegler dan Nichols* menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan rumus yang diperlihatkan dalam Tabel 2.2. (Ogata, K., 1997)

Gambar 2.8 Sistem *Loop* Tertutup dengan Kontroler Proporsional

Sumber: Katsuhiko Ogata, 1997

Gambar 2.9 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode P_{cr}

Sumber: Katsuhiko Ogata, 1997

Tabel 2.2. Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan Critical Gain K_{cr} dan Critical Period P_{cr}

Typo Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.50 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.60 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Sumber: Katsuhiko Ogata, 1997

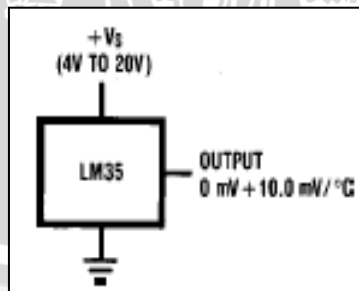
2.4 Sensor Suhu

LM35 merupakan sensor suhu terintegrasi yang mempunyai tegangan keluaran yang linier. LM35 mempunyai impedansi keluaran yang rendah, keluaran yang linier dan kalibrasi yang tepat sehingga mudah untuk di hubungkan dengan rangkaian lain.

Adapun spesifikasi pada LM35 adalah sebagai berikut:

- Kalibrasi dalam derajat celsius
- Faktor skala linier adalah $10\text{ mV}/^\circ\text{C}$
- Jangkauan suhu -55°C sampai 150°C
- Tegangan operasi dari 4 V sampai 30 V
- Ketidaklinieran hanya $\pm 1/4^\circ\text{C}$
- Impedansi keluaran kecil sebesar 0,1 Ohm untuk arus beban 1mA

Dalam Gambar 2.10 ditunjukkan skema sensor suhu LM35.

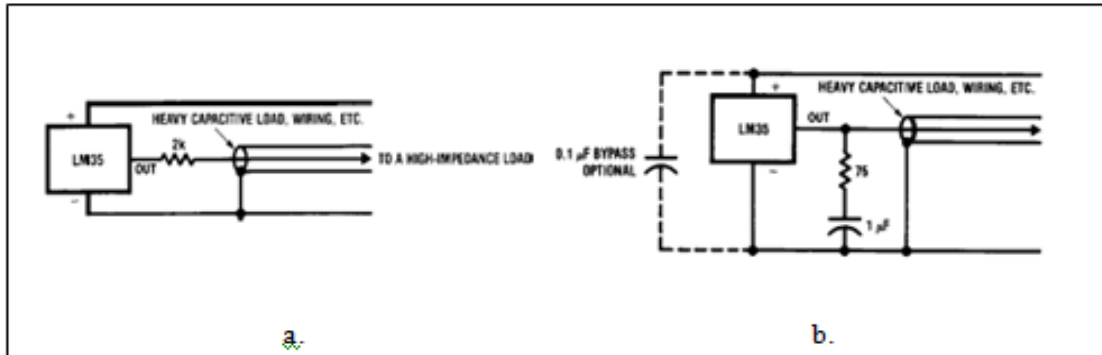


Gambar 2.10 Skema LM3

Sumber : Datasheet LM35

LM35 mempunyai batas kemampuan untuk mendrive beban kapasitif. LM35 dapat mendrive 50 pF tanpa penanganan khusus. Jika beban bertambah maka untuk

mengantisipasinya dengan mengisolasi beban dengan resistor atau menambah kapasitansi yang disusun seri dengan resistor antara *output* dan *ground* seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 LM35 dengan *Decouple Resistor* dan LM35 dengan *RC Damper*
Sumber : *Datasheet LM35*

2.5 Load cell

Load cell adalah sebuah transduser yang digunakan untuk mengubah gaya tekanan menjadi besaran elektrik. Meskipun banyak jenisnya, *load cell* yang didasarkan *strain gage* adalah jenis yang paling banyak digunakan. Pada tahun 1843, fisikawan Inggris Sir Charles Wheatstone menemukan sebuah rangkaian penghubung yang dapat mengukur tahanan elektrik. Biasanya sensor *load cell* ini terdiri dari empat *strain gage* dalam jembatan wheatstone, tetapi ada juga yang terdiri dari satu atau dua *strain gauge*. Rangkaian penghubung wheatstone digunakan untuk mengukur perubahan tahanan yang terjadi pada *strain gage*. Pada sensor *load cell* dihubungkan dengan driver *load cell*. *Load cell strain gage* memiliki tingkat akurasi dari 0,03% sampai 0,25% skala penuh dan cocok digunakan hampir di semua aplikasi industri. Desain *load cell* dapat dibedakan menurut jenis sinyal keluarannya (pneumatik, hidrolik, listrik) atau sesuai dengan cara mendeteksi massanya (lentur, geser, ketegangan, dll). Gambar 2.12 merupakan salah satu contoh bentuk *load cell* tipe balok.



Gambar 2.12 *Load cell* Tipe Balok
Sumber: <http://www.omega.com/pptst/LC501.html>, Juni 2010

2.6 Pemanas (*Heater*)

Pemanas yang digunakan dalam perancangan alat pengering ini menggunakan elemen pemanas seperti yang digunakan pada magic com (penghangat nasi). Panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas cukup untuk memanaskan udara dalam ruang pengeringan. Elemen pemanas ini terbuat dari bahan konduktor yang berbentuk lempengan bulat dan dapat bekerja optimum pada tegangan 220 V 400W.

2.7 Mikrokontroler AT89S51

Secara umum, mikrokontroler berfungsi sama dengan komputer. Bedanya adalah mikrokontroler memiliki desain dalam sebuah *single chip* (IC). Mikrokontroler terdapat di hampir semua peralatan elektronik, di dalam tape, TV, radio, telepon genggam (*Hand Phone*) dll. Mikrokontroler memiliki kemampuan yang diperlukan untuk membuat keputusan berdasarkan sinyal dari luar dengan kata lain mikrokontroler merupakan otak dari sebuah perangkat elektronik.

AT89S51 merupakan salah satu mikrokontroler dari buatan ATMEL keluarga MCS-51 yang mempunyai 4 kbyte Flash PEROM (*Flash Programmable and Erasable Read Only Memory*), 128 byte RAM, 32 pin I/O (4 buah *port* I/O bit) yang mana tiap pin tersebut dapat diprogram secara paralel dan tersendiri, mempunyai dua buah *timer/counter* 16 bit, mempunyai *watchdog timer*, serta dua data pointer.

Pada dasarnya mikrokontroler terdiri atas mikroprosesor, *timer*, dan *counter*, perangkat I/O dan internal memori. Mikrokontroler termasuk perangkat yang sudah didesain dalam bentuk *chip* tunggal. Mikrokontroler dikemas dalam satu *chip* (*single chip*). Mikrokontroler didesain dengan instruksi-instruksi lebih luas dan 8 bit instruksi yang digunakan membaca data instruksi dari internal memori ke ALU.

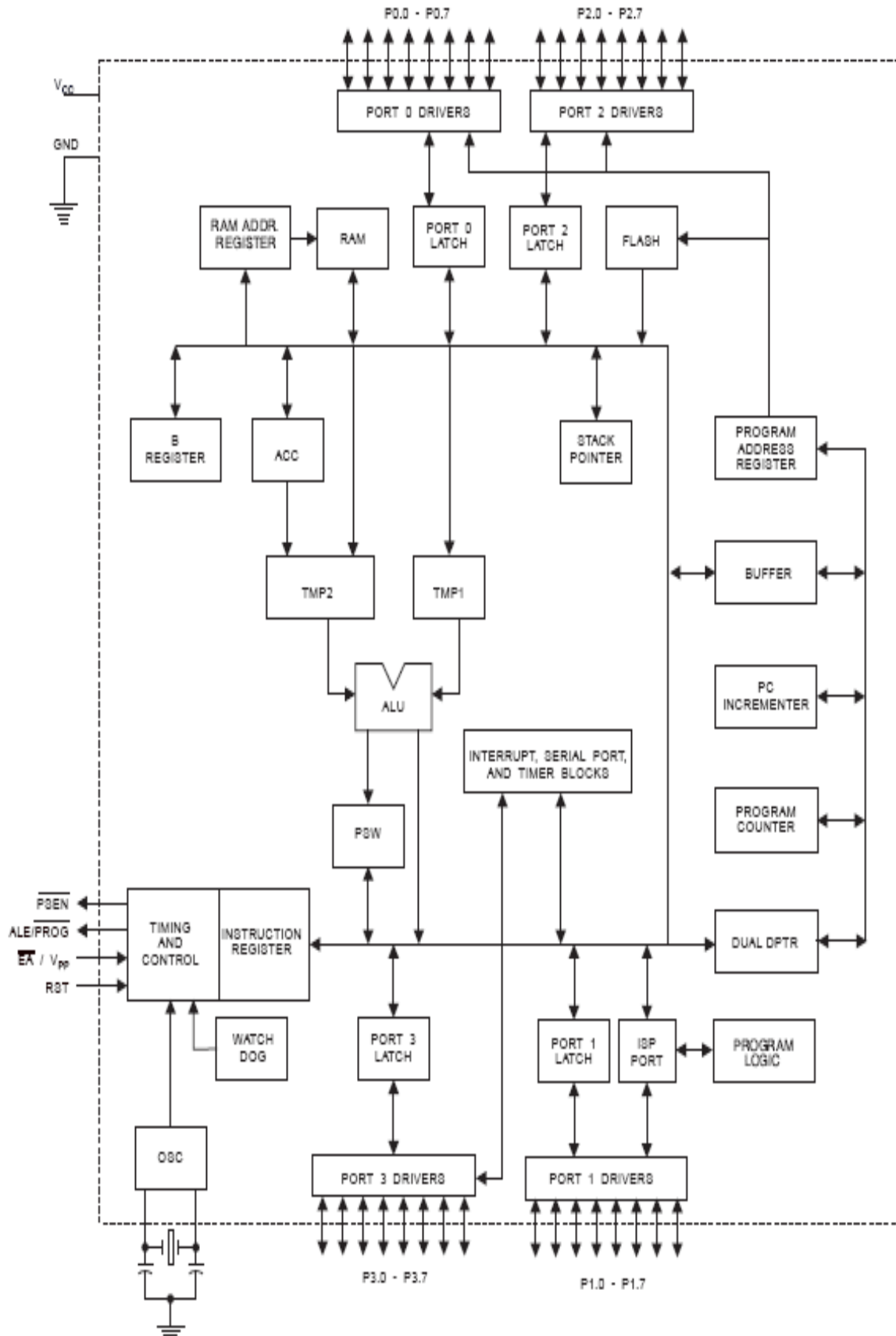
Sebagai suatu sistem kontrol mikrokontroler AT89S51 bila dibandingkan dengan mikroprosesor memiliki kemampuan dan segi ekonomis yang bisa diandalkan karena dalam mikrokontroler sudah terdapat RAM dan ROM sedangkan mikroprosesor didalamnya tidak terdapat keduanya. Secara umum konfigurasi yang dimiliki mikrokontroler AT89S51 adalah sebagai berikut :

- Sebuah CPU 8 bit dengan menggunakan teknologi dari Atmel.
- Memiliki memori baca-tulis (RAM) sebesar 128 *byte*.
- Empat buah *programmable port* I/O, masing-masing terdiri atas 8 buah jalur I/O.

- Sebuah *port* serial dengan kontrol *full duplex*.
- *Reprogrammable Flash memory* yang besarnya 4 kbyte untuk memori program.
- Mampu beroperasi sampai 24 MHz.

AT89S51 adalah mikrokontroler mempunyai kompatibilitas instruksi dan konfigurasi pin dengan mikrokontroler MCS-51. Diagram blok MCS-51 ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



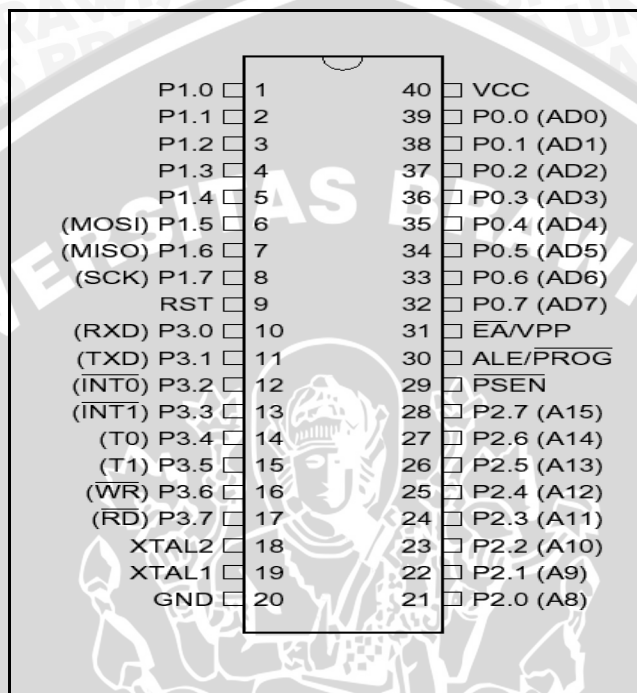


Gambar 2.13 Diagram Blok AT89S51

Sumber : Datasheet AT89S51

2.7.1 Konfigurasi Pin

Masing-masing kaki dalam mikrokontroler AT89S51 mempunyai fungsi tersendiri. Dengan mengetahui fungsi masing-masing kaki mikrokontroler AT89S51, perancangan aplikasi mikrokontroler AT89S51 akan lebih mudah merencanakan dan membuat sistem yang dirancang. AT89S51 mempunyai 40 pin, susunan masing-masing pin dapat dilihat dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Konfigurasi Pin AT89S51
Sumber: Atmel, 1997:2

Fungsi kaki-kaki AT89S51 adalah:

1. *Port 1* (Pin 1..8), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah.
2. Pin 9 RST, merupakan saluran dua masukan untuk mereset mikrokontroler dengan cara memberi masukan logika tinggi.
3. *Port 3* (Pin 10..17), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah dan mempunyai fungsi khusus. Fungsi khusus meliputi TXD (*Transmit Data*), RXD (*Receive Data*), $\overline{INT0}$ (*Interrupt 0*), $\overline{INT1}$ (*Interrupt 1*), T0 (*Timer 0*), T1 (*Timer 1*), \overline{WR} (*Write*), \overline{RD} (*Read*).
4. Pin 18 dan 19 (XTAL₁ dan XTAL₂), merupakan saluran untuk mengatur pewaktuan sistem. Untuk pewaktuan dapat menggunakan pewaktuan internal maupun eksternal.
5. Pin 20 V_{SS}, merupakan hubungan ke *ground* dari rangkaian.

6. *Port 2* (Pin S21..28), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah.
7. Pin 29 $\overline{\text{PSEN}}$ (*Program Store Enable*), merupakan sinyal baca untuk mengaktifkan memori program eksternal.
8. Pin 30 $\overline{\text{ALE}}/\overline{\text{PROG}}$ (*Address Latch Enable*), merupakan pulsa yang berfungsi untuk menahan alamat rendah (A0-A7) dalam *port 0*, selama proses baca/tulis memori eksternal. Frekuensi ALE adalah $\frac{1}{6}$ kali frekuensi osilator, dan dapat digunakan sebagai pewaktu. Pin ini juga berfungsi sebagai saluran program selama dilakukan pemrograman jika menggunakan memori program internal.
9. Pin 31 $\overline{\text{EA}}/\text{VPP}$ (*External Access Enable*), untuk mengatur penggunaan memori program eksternal dan internal. Pin ini harus dihubungkan dengan *ground* bila menggunakan memori program eksternal dan dihubungkan dengan VPP sebesar 5 volt jika menggunakan memori program internal.
10. *Port 0* (Pin 32..39), merupakan saluran masukan/keluaran *open drain*.
11. Pin 40 V_{CC} , merupakan saluran masukan untuk catu daya positif sebesar 5 volt DC dengan toleransi lebih kurang 10%.

2.7.2 Struktur dan Operasi *Port*

Mikrokontroler AT89S51 memiliki 4 buah *port*. Setiap *port* memiliki 8 buah jalur I/O yang bersifat *bidirectional*. Beberapa karakteristik *port* mikrokontroler AT89S51 dijelaskan secara singkat sebagai berikut:

1. *Port 0* merupakan *port* I/O 8-bit yang tidak mempunyai *pull-up* internal. Sebagai sebuah keluaran, maka setiap pin juga dapat mengendalikan 8 beban TTL. *Port 0* juga dapat digunakan untuk memultipleks *address* bus rendah dan data memori dengan menggunakan *pull-up* internal. Selain itu, *port 0* juga menerima kode mesin (dalam byte) selama pemrograman EPROM dan mengeluarkan kode mesin selama program verifikasi dari EPROM. Selama program verifikasi dibutuhkan *pull-up* eksternal. Pada *port* ini berlaku ketentuan yang berbeda dengan *port-port* lain, yaitu bila digunakan sebagai keluaran harus diberikan tambahan resistor *pull-up*.
2. *Port 1* merupakan sebuah *port* I/O *bidirectional* yang mempunyai *pull-up* internal. *Buffer* keluaran dari *port 1* dapat mengendalikan 4 beban TTL. Pin-pin dari *port 1* dapat juga digunakan sebagai masukan jika di *pull-up* tinggi oleh

pull-up internal dan jika *pull-up low* internal. *Port 1* juga menerima *address* bus rendah (dalam byte) selama pemrograman EPROM dan selama program verifikasi dari EPROM.

3. *Port 2* dapat digunakan sebagai *input* atau *output* seperti pada *port 1*. Alternatif lain dari *port 2* dapat dipergunakan sebagai *address* bus *high byte* pada saat mengakses memori eksternal.
4. *Port 3* merupakan sebuah *port* I/O 8-bit *bidirectional* yang mempunyai *pull-up* internal. *Buffer* keluaran dari *port 3* dapat mengendalikan dan menghasilkan arus IIL karena adanya *pull-up* internal. *Port 3* juga mempunyai fungsi yang lain seperti yang tertera dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Fungsi Alternatif *Port 3*

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{\text{WR}}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{\text{RD}}$ (external data memory read strobe)

Sumber: Atmel, 1997:4

2.7.3 Organisasi Memori

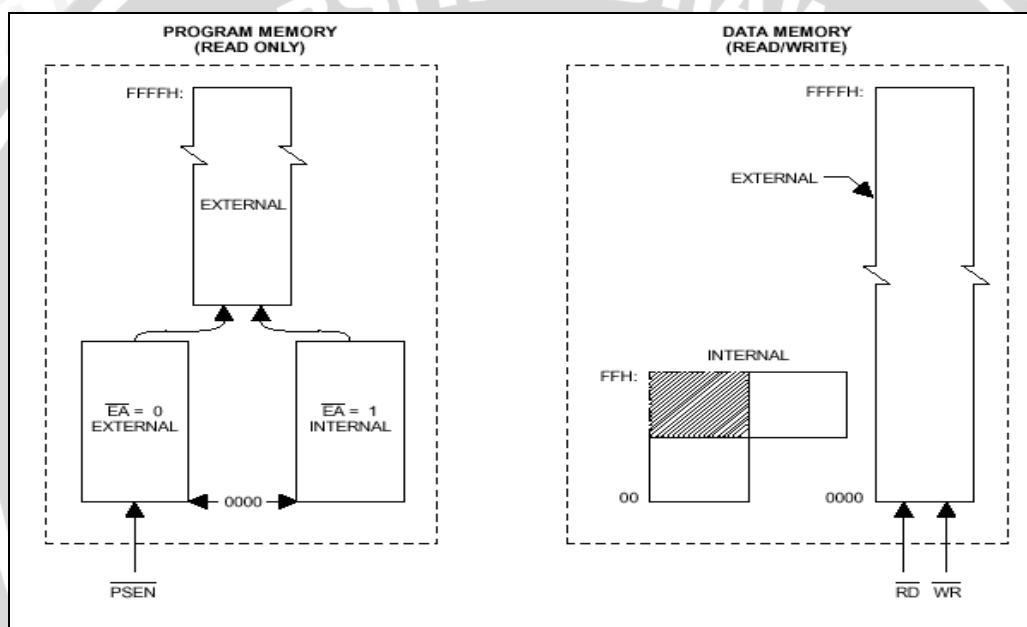
Mikrokontroler MCS-51 memiliki pembagian ruang alamat untuk program dan data. Memori data diakses oleh alamat 8 bit, tetapi alamat data 16 bit juga dapat dihasilkan mikrokontroler melalui register DPTR (*Data Pointer Register*). Alamat data dan program yang bisa dialamati oleh mikrokontroler adalah sebesar 64 kilobyte yaitu dari alamat 0000_H-FFFF_H.

$\overline{\text{PSEN}}$ adalah sinyal yang digunakan untuk pembacaan memori program eksternal. Mikrokontroler MCS-51 mempunyai dua buah alternatif untuk pembacaan memori program yaitu internal dan eksternal. Pembacaan memori program eksternal

dengan men-set pin \overline{EA} pada logika 0 dan pembacaan memori program internal pin \overline{EA} diset pada logika 1.

Mikrokontroler AT89S51 memiliki RAM internal 128 byte (00H-7FH) yang dapat digunakan untuk menampung data-data yang diperlukan dalam pemrograman. RAM internal tersebut dapat diklasifikasikan sebagai berikut: 80 byte *general purpose* (30H-7FH), 32 byte (00H – 1FH) sebagai *register bank* yang dapat dimanfaatkan seperti RAM biasa, dan 16 byte (20H-2FH) *bit addressable*.

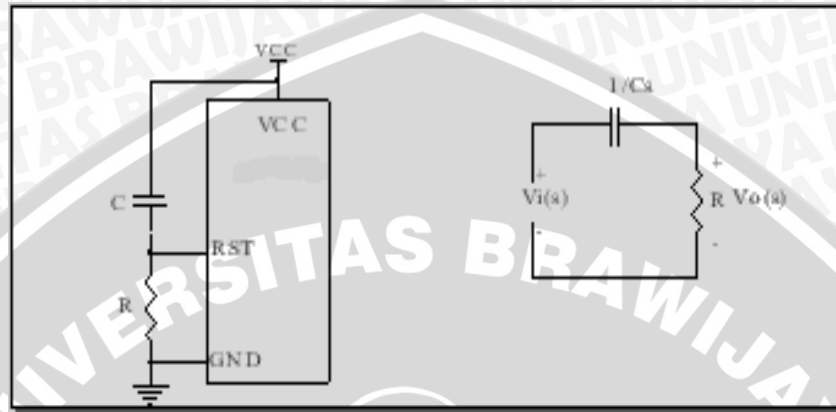
Gambar 2.15 memperlihatkan struktur memori MCS-51. ROM internal mikrokontroler AT89S51 jenis *flash EEPROM* sebesar 4 kilobyte dapat diprogram ulang sebanyak 1000 kali.



Gambar 2.15 Struktur Memori MCS-51
Sumber : AT89C51 Architectural Overview, 1997:2-4

2.7.4 Reset

Rangkaian *reset* dibutuhkan untuk me-*reset* mikrokontroler pada saat *power on*. Tegangan berlogika tinggi selama 2 siklus mesin dibutuhkan untuk me-*reset* MCU pada saat dihidupkan. Rangkaian *reset* terdiri dari resistor dan kapasitor yang dihubungkan seperti dalam Gambar 2.16.



Gambar 2.16 (a) Rangkaian *Power On Reset*
(b) Rangkaian Ekuivalen *Power On Reset*
Sumber : Atmel, 1997: 2-63

2.8 Pengkondisi Sinyal

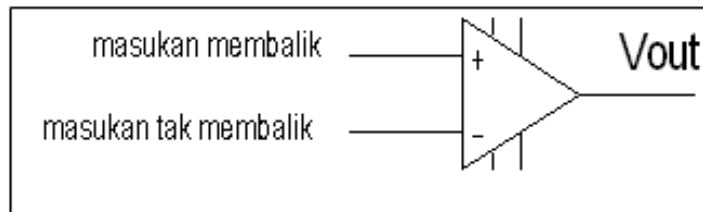
Rangkaian pengkondisi sinyal dibentuk berdasarkan hubungan yang linier antara tegangan keluaran dan tegangan masukan rangkaian.

2.8.1 Penguat Operasional

Keluaran suatu rangkaian sebelum masuk ke rangkaian berikutnya jika sinyalnya masih kecil membutuhkan suatu penguat. Peralatan elektronika yang sering dimanfaatkan sebagai penguat adalah penguat operasional. Karakteristik op-amp yang terpenting adalah :

- Impedansi masukan tinggi, sehingga arus masukan dapat diabaikan.
- Penguatan tinggi.
- Impedansi keluaran rendah, sehingga keluaran penguat tidak terpengaruh oleh pembebanan.

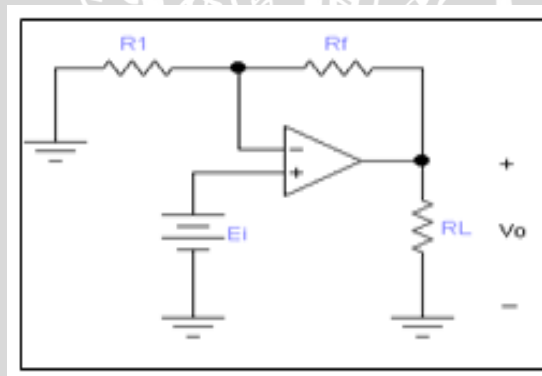
Rangkaian penguat op-amp dapat dilihat dalam Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Penguat Op-Amp
Sumber : Coughlin, 1982

2.8.2 Penguat Tak Membalik (*Non Inverting Amplifier*)

Penguat umpan balik tegangan tak membalik adalah penguat tegangan yang mendekati ideal karena impedansi masukan tinggi, impedansi keluarannya rendah dan bati tegangannya yang mantap. Pada penguat jenis ini sinyal masuk menggerakkan masukan tak membalik dari penguat, sebagian dari tegangan keluar kemudian dicuplik dan diumpankan kembali ke masukan membalik. Rangkaian penguat tak membalik dapat dilihat dalam Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Penguat Tak Membalik
Sumber : Coughlin, 1982

Tegangan keluaran V_o mempunyai polaritas yang sama dengan tegangan masukan E_i . Tahanan masukan dari masukan pembalik adalah R_i tetapi tahanan masukan dari masukan tak membalik adalah besar, biasanya melebihi $100 \text{ M}\Omega$. karena tegangan antara masukan (+) dan masukan (-) secara praktis adalah 0 maka kedua masukan itu berada pada potensial yang sama yaitu E_i . Karena E_i melintasi R_1 dan E_i menyebabkan arus I mengalir seperti diberikan oleh,

$$I = \frac{E_i}{R_1} \quad (2-14)$$

Arah I tergantung pada polaritas E_i , arus yang mengalir lewat masukan (-) diabaikan karenanya I mengalir melalui R_f dan penurunan tegangan melintasi R_f dinyatakan oleh V_{Rf} dan dinyatakan sebagai

$$V_{Rf} = I \cdot (R_f) = \frac{R_f}{R_1} \cdot E_i \quad (2-15)$$

Maka tegangan keluaran V_o adalah

$$V_o = E_i + \frac{R_f}{R_1} \cdot E_i \quad (2-16)$$

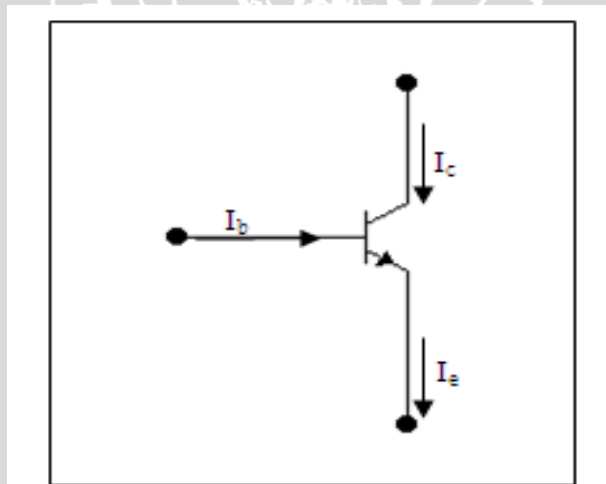
$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot E_i \quad (2-17)$$

dengan begitu gain tegangannya yaitu

$$A_{CL} = \frac{V_o}{E_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (2-18)$$

2.9 Transistor

Transistor merupakan salah satu komponen aktif yang dapat menghasilkan arus yang besar pada emiter akibat arus basis yang lebih kecil. Simbol transistor NPN ditunjukkan dalam Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Transistor NPN
Sumber : Malvino, 1999 : 197

2.9.1 Persamaan Transistor

Sesuai dengan hukum arus Kirchoff, jumlah arus yang masuk pada titik atau sambungan sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik atau sambungan itu. Jika diterapkan pada transistor maka,

$$I_e = I_b + I_c \quad (2-19)$$

Persamaan tersebut mengatakan bahwa arus emiter (I_e) merupakan jumlah arus kolektor (I_c) dan arus basis (I_b). Karena arus basis sangat kecil, arus emiter kira-kira sama dengan arus kolektor. β_{dc} didefinisikan sebagai rasio arus kolektor DC dengan arus basis DC. β_{dc} merupakan besaran yang penting dalam perancangan transistor sebagai penguat.

$$\beta_{dc} = \frac{I_c}{I_b} \quad (2-20)$$

β_{dc} juga dikenal sebagai gain arus. Karena arus basis yang kecil dapat menghasilkan arus kolektor yang lebih besar. Penguatan arus adalah keuntungan utama sebuah transistor dan telah dipakai pada banyak aplikasi. Untuk transistor daya rendah (dibawah 1 W), gain arus biasanya 100 – 300. Transistor daya tinggi (diatas 1 W) biasanya memiliki gain arus 20 -100

2.9.2 Garis Beban DC

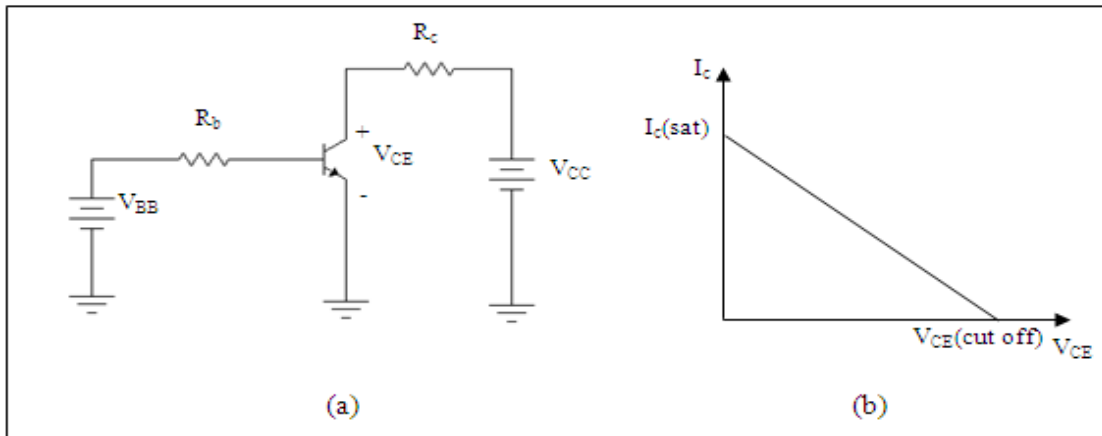
Rangkaian dalam Gambar 2.20a. merupakan contoh bias basis, yang berarti mengatur nilai tetap arus basis. Dari rangkaian dalam Gambar 2.20, besar tegangan kolektor-emiter (V_{CE}) ditentukan dengan:

$$V_{ce} = V_{cc} - I_c R_c \quad (2-21)$$

Penyelesaian I_c akan menghasilkan :

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{R_c} \quad (2-22)$$

Persamaan 2-22 (I_c terhadap V_{CE}), digambarkan oleh sebuah garis lurus. Garis ini dinamakan garis beban karena menggambarkan pengaruh beban pada I_c dan V_{CE} . Persamaan 2-22 merupakan persamaan linear, sehingga grafiknya merupakan garis lurus. Gambar garis beban ditunjukkan dalam Gambar 2.20b.



Gambar 2.20 (a) Bias Basis Transistor, (b) Garis Beban DC

Sumber : Malvino, 1999 : 235

Perpotongan garis beban dengan I_c disebut penjuhan. Pada titik ini, arus kolektor adalah maksimum. Titik ini disebut juga titik jenuh (*saturation*). Titik jenuh menyatakan arus maksimum kolektor yang mungkin pada rangkaian. Arus kolektor penjuhan adalah:

$$I_c(sat) = \frac{V_{CC}}{R_c} \quad (2-23)$$

Titik *cut off* adalah titik di mana garis beban berpotongan dengan V_{CE} . Titik *cut off* menyatakan tegangan kolektor-emiter maksimal yang mungkin dalam rangkaian. Besar $V_{CE}(cut\ off)$ adalah sama dengan V_{CC} .

2.9.3 Saklar Transistor

Transistor dapat difungsikan seperti saklar yang memiliki dua keadaan yaitu *on* dan *off*. Transistor yang berfungsi sebagai saklar hanya memiliki dua tegangan keluaran yaitu tegangan keluaran rendah dan tegangan keluaran tinggi. Dengan kata lain, transistor hanya beroperasi pada keadaan jenuh dan *cut off*. (Malvino, 1999)

BAB III

METODOLOGI

Kajian dalam skripsi ini merupakan penelitian yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan pembuatan alat pengering pada sale pisang menggunakan kendali PI (Proporsional-Integral) yang bertujuan agar dapat menampilkan performansi sistem sesuai dengan yang direncanakan.

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

3.1 Studi literatur

Studi literatur mengacu pada prinsip kerja alat yang dirancang meliputi sistem pengendalian mesin pengering pada sale pisang menggunakan PI (Proporsional-Integral), karakteristik dari komponen yang digunakan serta studi tentang pengendalinya yaitu menggunakan mikrokontroler AT89S51 sebagai pusat pengontrol dengan kendali kontroler PI.

Adapun hal-hal yang berhubungan dengan hal tersebut adalah:

- a. Studi tentang proses pengeringan pada sale pisang
 - Karakteristik buah pisang khususnya jenis pisang ambon dan pengeringannya.
 - Sistem kerja mesin pengering.
- b. Studi tentang rangkaian sensor
 - Karakteristik spesifikasi sensor suhu LM35, dan sensor massa *load cell*.
 - Penerapan sensor suhu, dan sensor massa sesuai sistem.
 - Karakteristik komponen elektronik yang digunakan diantaranya meliputi pengkondisi sinyal, LCD, Mikrokontroler AT89S51, ADC PCF 8591 dan transistor sebagai saklar.
 - Penerapan *fan*, jendela dan pemanas sebagai aktuator sesuai sistem.
- c. Kontroler PI
 - Karakteristik umum kontroler PI.
 - Teknik pemrograman mikrokontroler AT89S51 sebagai pusat pengontrol kendali PI.

- Teknik interface antara peralatan keluaran untuk kontroler dengan peralatan yang akan diatur yaitu alat pengering pada sale pisang.

3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik pendukungnya, hal ini dimaksudkan agar sistem pengendalian pada alat pengering tersebut dapat berjalan sesuai dengan deskripsi awal yang telah direncanakan. Perancangan sistem yang dilakukan meliputi:

- Penentuan dimensi dan bahan yang digunakan dalam pembuatan alat pengering.
- Penentuan rangkaian elektronik yang digunakan.
- Penentuan spesifikasi sistem yang akan dibuat, meliputi :
 - a. Penentuan deskripsi kerja sistem secara keseluruhan.
 - b. Kontroler PI dan rangkaian elektronik pendukung.
- Perancangan program pada mikrokontroler AT89S51 sebagai pusat pengontrol dengan kendali PI.

3.3 Realisasi Pembuatan Sistem

Untuk merealisasikan alat atau sistem yang telah dirancang sebelumnya maka perlu diperhatikan beberapa tahapan dalam pembuatan alat tersebut, diantaranya yaitu :

- Pembuatan mekanik alat pengering pada sale pisang secara keseluruhan yang meliputi pengaturan aliran udara, penempatan sensor pendukung serta pemanas dan *fan*.
- Pengisian program yang telah dirancang sebelumnya pada mikrokontroler AT89S51 dengan kendali kontroler PI.

3.4 Pengujian dan Analisa Data

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan perangkat lunak untuk mendukung sistem telah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisa alat. Metode pengujian alat adalah sebagai berikut

- Menguji pada tiap-tiap blok rangkaian.
- Kalibrasi pada sensor yang digunakan.
- Menggabungkan beberapa blok rangkaian menjadi sebuah sistem.
- Mengadakan pengujian sistem secara keseluruhan.

- Mengevaluasi hasil pengujian sistem secara keseluruhan.

3.5 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan. Jika hasil yang didapatkan telah sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan tentunya memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk penyempurnaan.



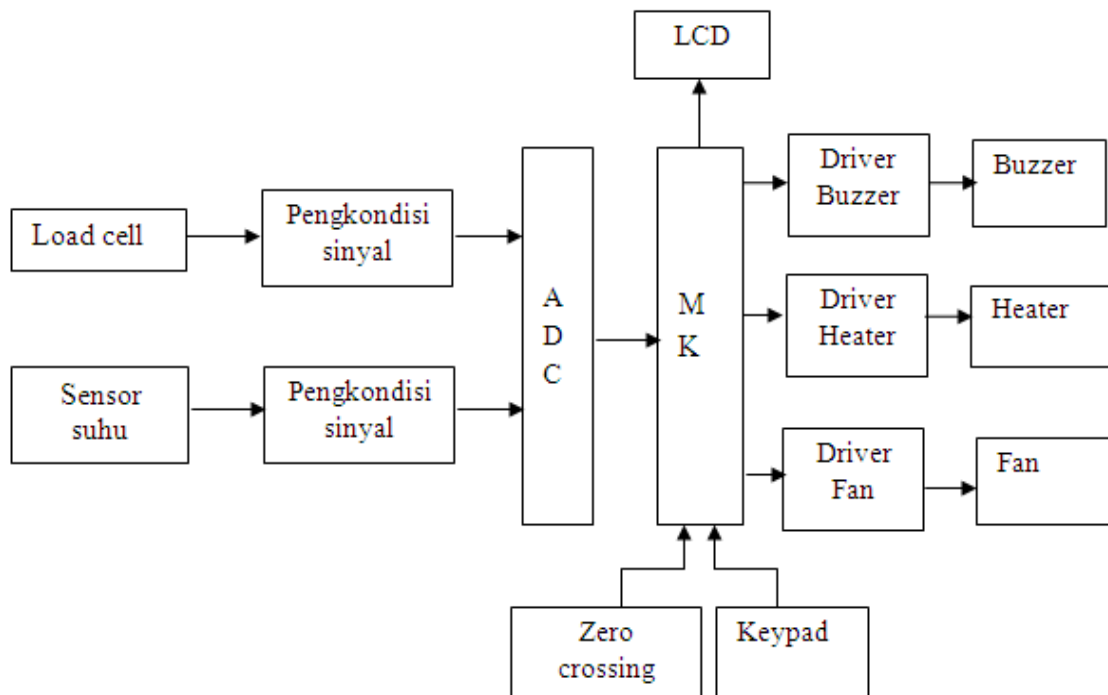
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

4.1 Perancangan Sistem

Perancangan alat ini dilakukan secara bertahap yaitu blok demi blok, sehingga akan memudahkan dalam menganalisa setiap bloknnya maupun secara keseluruhan. Perancangan dan pembuatan sistem ini terdiri atas dua bagian yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*). Beberapa aspek lain yang akan dijelaskan dalam pembahasan bab ini adalah diagram blok rangkaian, cara kerja rangkaian, dan komponen-komponen pendukung yang digunakan.

4.1.1 Diagram Blok Sistem

Untuk mempermudah pengerjaan alat pengeringan maka perlu adanya diagram blok umum sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1 :



Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem
Sumber: Perancangan

4.1.2 Prinsip Kerja Alat

Alat pengering (oven) yang digunakan berupa model yang terbuat dari bahan aluminium. Proses pengkondisi ruangan dipengaruhi oleh *heater* dan *fan*. *Heater* dan *fan* diletakkan di oven bagian bawah. Proses pengeringan dalam alat pengering ini dipengaruhi juga oleh faktor massa. *Load cell* digunakan untuk menentukan massa pisang sebelum dan sesudah proses pemanasan.

Langkah pertama untuk menjalankan alat pengering ini adalah mengatur nilai *set point* suhu, nilai penguatan kontroler PI (k_p dan k_i), dan nilai *set point* massa yang akan disimpan di dalam *memory*. Mikrokontroler akan menjalankan program dan membaca nilai massa sale pisang melalui *load cell* sebagai nilai awal.

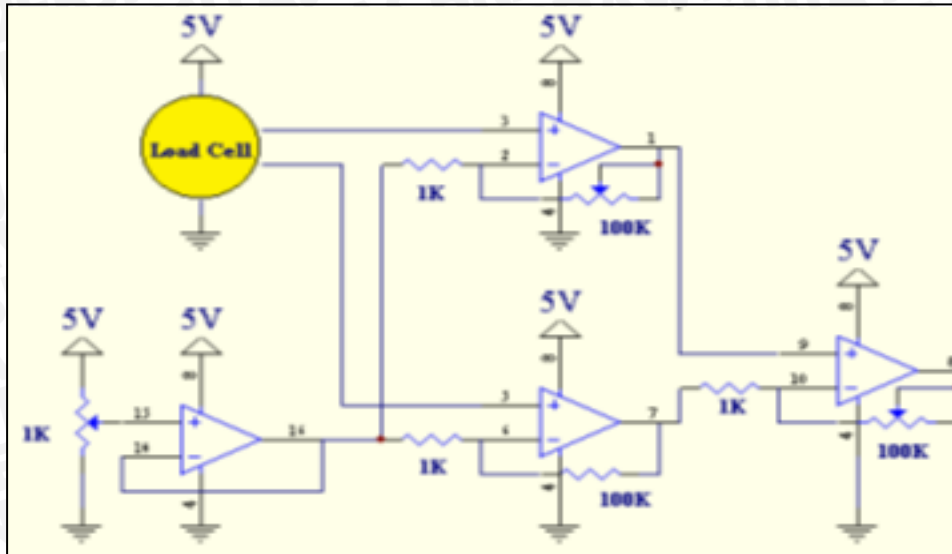
Heater akan aktif sesuai dengan perintah mikrokontroler yang diatur menggunakan algoritma kontroler PI. *Heater* dan *fan* akan mengkondisikan suhu sesuai dengan nilai *set point* suhu. *Heater* akan aktif mencapai nilai *set point* suhu. Jika nilai suhu dalam ruang pengering melampaui nilai *set point* suhu maka *fan* otomatis aktif mengkondisikan suhu dan *heater* akan otomatis *off*. Jika nilai *set point* massa telah terpenuhi maka *heater* dan *fan* otomatis *off* dan *buzzer* akan berbunyi sebagai tanda bahwa proses pengeringan telah selesai.

4.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian sensor massa, sensor suhu, modul mikrokontroler dan rangkaian-rangkaian pendukung yang digunakan. Di bawah ini adalah penjelasan masing-masing rangkaian penyusun keseluruhan alat.

4.2.1. Rangkaian Driver Sensor Massa dan Sensor Massa

Sensor massa yang digunakan adalah sensor *load cell*. Sensor *load cell* adalah transduser yang digunakan untuk mengubah tekanan menjadi sinyal elektrik. Pada sensor *load cell* dihubungkan dengan driver *load cell*. Gambar 4.2 adalah gambar dari sensor *load cell* dengan drivernya.



Gambar 4.2. Rangkaian Sensor Massa
Sumber: Perancangan

Pada Gambar 4.2 terdapat rangkaian driver *load cell* yang terdiri dari 4 pengkondisi sinyal (op-amp). Di mana ke-4 op-amp tersebut saling berhubungan satu dengan yang lain, yang dapat dihitung dengan rumus tegangan keluaran dari op-amp tersebut.

Pada saat V_{out} rangkaian sensor massa sama dengan nol, maka nilai V_+ op-amp pertama yaitu op-amp yang terletak paling atas adalah 2,5V dan V_+ op-amp kedua yaitu op-amp yang terletak paling bawah adalah 2,5V. Analisis rangkaian dihitung mulai dari op-amp ketiga yaitu op amp yang terletak paling kanan.

$$V_{out} = (V_{in+} - V_{in-}) \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) + V_{in-}$$

$$0 = (V_{in+} - 1) (50) + 1$$

$$V_{in+} = 0,98 \text{ V}$$

V_{in+} op-amp ketiga merupakan V_{out} op-amp pertama, sehingga dapat dihitung analisis rangkaian op-amp pertama.

$$V_{out} = (V_{in+} - V_{in-}) \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) + V_{in-}$$

$$0,98 = (2,5 - V_{in-}) (50) + V_{in-}$$

$$V_{in-} = 2,53 \text{ V}$$

V_{in-} op-amp pertama merupakan V_{in-} op-amp kedua yaitu op-amp yang terletak paling bawah, sehingga dapat dihitung analisis rangkaian op-amp kedua.

$$V_{out} = (V_{in+} - V_{in-}) \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) + V_{in-}$$

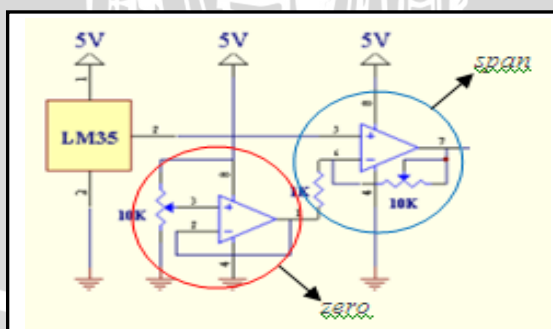
$$1 = (2,5-2,53)(A_v)+2,53$$

$$A_v = 51$$

4.2.2 Rangkaian Pengukur Suhu

Rangkaian pengukur suhu terdiri dari IC LM35 dan pengkondisi sinyal untuk LM35. IC LM35 berfungsi sebagai sensor suhu yang dapat mengubah masukan berupa besaran suhu atau temperatur menjadi keluaran berupa tegangan. Di mana untuk setiap kenaikan 1°C , tegangan yang dikeluarkan oleh sensor sebesar 10 mV. Tegangan keluaran IC LM35 cukup kecil sehingga diperlukan pengkondisi sinyal atau penguat tegangan, saat terjadi perubahan temperatur atau suhu maka perubahan tegangan keluaran pada sensor masih dapat diamati dalam skala yang cukup besar. Dalam perancangan sistem ini nilai *set point* suhu yang dikendalikan di dalam oven ditetapkan sebesar 65°C .

Rangkaian pengkondisi sinyal untuk sensor suhu LM35 yang dirancang pada sistem ini terbagi menjadi dua macam rangkaian op-amp, yang kemudian digunakan istilah sebagai rangkaian *zero* dan *span*. Rangkaian *zero* berfungsi sebagai *virtual input* bagi rangkaian *span*, di mana nilai tegangan keluaran pada rangkaian *zero* tersebut diatur sehingga sama dengan nilai tegangan untuk menyatakan batas bawah kondisi suhu pada range kerja untuk pengendalian suhu. Rangkaian *span* merupakan rangkaian penguat selisih tegangan (penguat *differensial*) yang berfungsi untuk menguatkan sinyal-sinyal tegangan yang nilainya kecil. Rangkaian pengkondisi sinyal untuk sensor suhu LM35 ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Rangkaian Pengkondisi Sinyal untuk LM35

Sumber: Perancangan

Pengendalian suhu pada sistem ini telah ditentukan untuk bekerja pada *range* suhu 25,0 °C – 70,0°C. Agar perubahan tegangan keluaran pada sensor LM35 yang memiliki resolusi 10 mV/°C dapat dibaca oleh ADC yang memiliki *range* tegangan masukan antara 0 – 5V serta resolusi 19,6 mV/bit, maka tegangan keluaran sensor LM35 pada *range* kerja tersebut akan dikuatkan oleh pengkondisi sinyal agar tegangannya dapat dibaca oleh ADC.

Analisis rangkaian span dengan range suhu 25,0°C-70°C bekerja pada tegangan masukan 250 mV-700mV dan tegangan keluaran 0 mV – 4410 mV dengan analisis perhitungan sebagai berikut,

$$V_{out} = (V_{in+} - V_{in-}) \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) + V_{in-}$$

Saat $V_{out} = 0$ mV

$$0 = (250 - V_{in-}) (Av) + V_{in-} \quad (1)$$

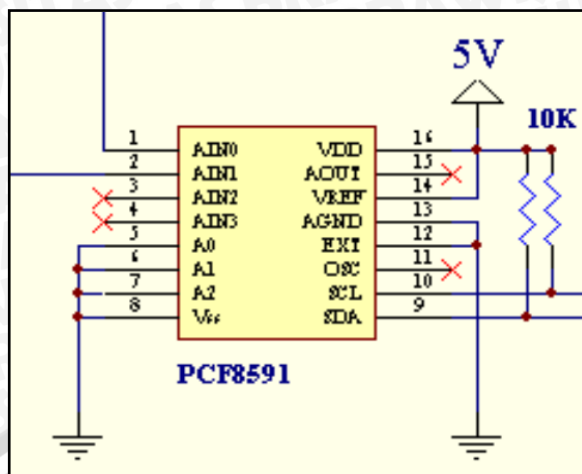
Saat $V_{out} = 4410$ mV

$$4410 = (700 - V_{in-}) (Av) + V_{in-} \quad (2)$$

Dari persamaan (1) dan persamaan (2) maka dengan metode eliminasi didapatkan nilai penguatan $Av = 9,8$ dan nilai $V_{in-} = 278,4$ mV. Nilai V_{in-} merupakan nilai V_{out} rangkaian *zero*.

4.2.3 Rangkaian ADC

Tegangan keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal berupa tegangan analog. Agar nilai tersebut dapat dibaca oleh mikrokontroler AT89S51, maka nilai tegangan tersebut harus diubah menjadi data digital 8 bit menggunakan konverter analog ke digital. Perancangan ini menggunakan konverter analog ke digital berupa ADC PCF8591 berfungsi sebagai konverter analog ke digital dengan 4 masukan analog yang multipleks menjadi data digital 8 bit. Rangkaian ADC PCF8591 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rangkaian PCF8591

Sumber: Perancangan

ADC PCF8591 terdiri atas 16 pin yang ditunjukkan dalam Gambar 4.4 dan fungsi masing-masing pin ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Fungsi Pin ADC PCF8591

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AIN0	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V _{SS}	8	negative supply voltage
SDA	9	I ² C-bus data input/output
SCL	10	I ² C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V _{REF}	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V _{DD}	16	positive supply voltage

Sumber: Philips Semiconductor, 1998: 5

Keluaran dari ADC dapat dihitung sebagai berikut, diketahui V_{in} (analog) = 2,5 V, V_{ref} (analog) = 5 V, resolusi digital = $2^8 = 256$.

$$\text{Out (digital)} = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times \text{resolusi (digital)}$$

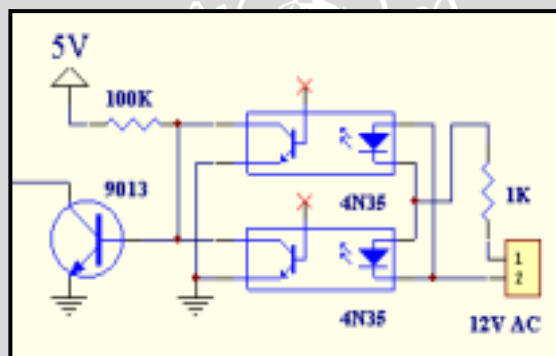
$$\text{Out (digital)} = \frac{2,5}{5} \times 256$$

$$\text{Out (digital)} = 128 = 2^7 \text{ (1000 0000)}$$

Jadi keluaran dari ADC-nya adalah 128 (bentuk desimal) atau 2^7 (heksadesimal) = 1000 0000 (bentuk biner).

4.2.4 Rangkaian Zero Crossing Detector

Zero crossing detector merupakan rangkaian yang dapat menghasilkan pulsa saat tegangan bolak-balik pada kondisi *zero*, dengan demikian diketahui saat di mana tegangan AC mencapai kondisi *zero* dan ini dapat digunakan sebagai awal pemberian *delay* (waktu tunda). Rangkaian *zero crossing detector* ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Rangkaian *Zero Crossing Detector*

Sumber: Perancangan

Pada saat led A atau led B menyala maka transistor NPN A atau B akan *on* dan memberikan *input ground* pada transistor 9013 sehingga transistor 9013 akan *off*. Pada saat led A dan led B tidak menyala maka transistor NPN A dan B akan *off* sehingga basis transistor 9013 akan mendapat masukan positif yang terhubung dengan tegangan 5 V.

Analisis penentuan nilai R1

$$R = \frac{(V - V_{led})}{I}$$

$$= \frac{(5 - 1,8)}{10} = 0,32 \text{ k ohm}$$

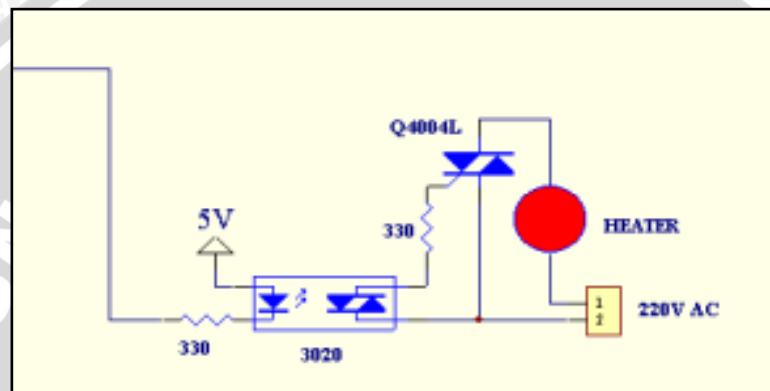
Analisis penentuan nilai R2

$$R = \frac{(V - V_{led})}{I}$$

$$= \frac{(12 - 1,8)}{10} = 1,02 \text{ k ohm}$$

4.2.5 Driver Heater

Led opto triac akan mendapatkan *trigger* sehingga rangkaian led opto isolated triac akan aktif dan *heater* akan *on*. Nilai V_{in} *heater* ditentukan oleh *delay* dari *zero crossing*. Semakin besar nilai *delay zero crossing* maka akan semakin kecil pula nilai V_{in} *heater*. Rangkaian driver *heater* ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Rangkaian Driver *Heater*
Sumber: Perancangan

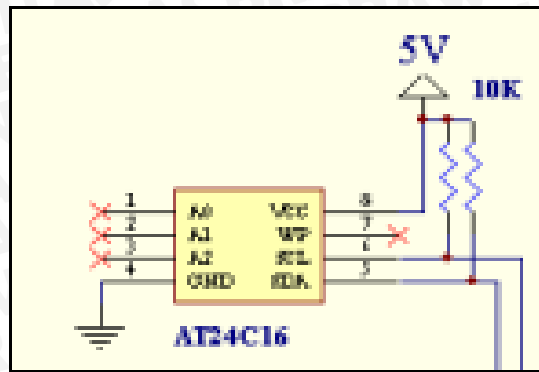
Analisis penentuan nilai R

$$R = \frac{(V - V_{led})}{I}$$

$$= \frac{(5 - 1,8)}{10} = 0,32 \text{ k ohm}$$

4.2.6 Memory AT24C16

Perancangan ini menggunakan EEPROM AT24C16 sebagai *memory external*. Rangkaian *memory* AT24C16 ditunjukkan dalam Gambar 4.7 dan fungsi masing-masing pin ditunjukkan dalam Tabel 4.2.



Gambar 4.7 Rangkaian Memory AT24C16
 Sumber: Perancangan

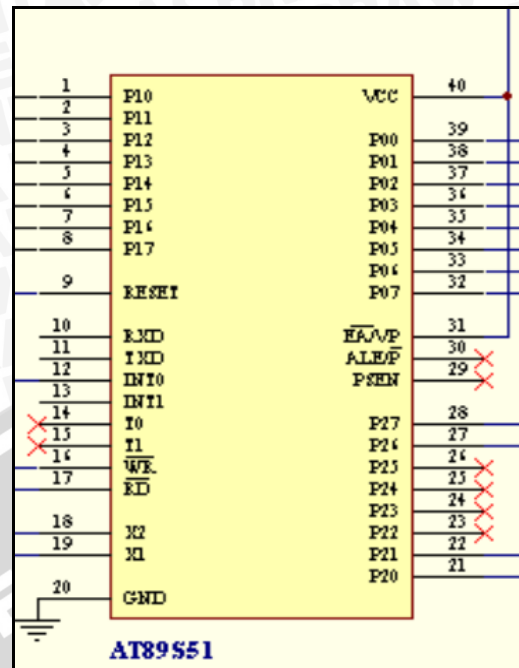
Tabel 4.2 Fungsi Pin AT24C16

Nomor Pin	Fungsi
1	A0 – Address Input
2	A1 – Address Input
3	A2 – Address Input
4	GND – Ground
5	SDA – Serial Data
6	SCL – Serial Clock Input
7	WP – Write Protect
8	Vcc – Positive Power Supply

Sumber: www.futurlec.com

4.2.7 Mikrokontroler AT89S51

Perancangan ini menggunakan mikrokontroler AT89S51 sebagai pengatur aliran data dari ADC menuju LCD dan konverter. Gambar 4.8 menunjukkan pin-pin mikrokontroler AT89S51 yang terhubung ke Serial ADC PCF8591, *memory external*, LCD M1632, *zero crossing*, *driver heater*, *driver fan*, dan *driver buzzer*.



Gambar 4.8 Rangkaian AT89S51

Sumber: Perancangan

Agar sebuah mikrokontroler dapat bekerja sebagai pengontrol, kaki-kaki/*port* mikrokontroler dihubungkan dalam rangkaian-rangkaian eksternal. Dalam perancangan ini, *port* yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Port* 0

P0.0-0.7 digunakan sebagai keluaran untuk mengirimkan alamat ke *bus* data LCD D0-D7

2. *Port* 1

P1.0-1.7 digunakan sebagai saluran keypad.

3. *Port* 2

P2.6 dan 2.7 digunakan sebagai keluaran untuk mengirimkan kontrol LCD (RS & E).

P2.0 dan P2.1 digunakan untuk driver *buzzer* dan *fan*.

4. *Port* 3

P3.0 dan P3.1 digunakan untuk komunikasi data SDA & SCL serial ADC & *memory external*.

P3.2 digunakan untuk *zero crossing*.

P3.7 digunakan untuk driver *heater*.

5. XTAL1 dan XTAL2

XTAL1 dan XTAL2 digunakan sebagai *input* dari rangkaian osilator kristal. Rangkaian osilator kristal terdiri dari kristal osilator 11.0592 MHz, kapasitor C1 dan C2 yang masing-masing bernilai 33 pF, akan membangkitkan pulsa *clock* yang menjadi penggerak bagi seluruh operasi internal mikrokontroler.

6. VCC

VCC dihubungkan dengan tegangan sebesar +5V sesuai dengan tegangan operasi *chip* tunggal yang diijinkan dalam *data sheet*.

7. GND

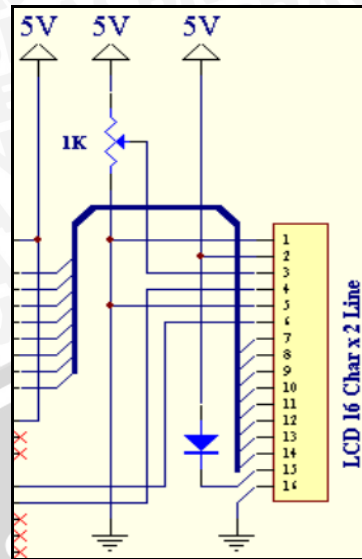
GND dihubungkan ke *ground* catu daya.

8. Reset

Reset digunakan untuk mereset program kontrol mikrokontroler, maka pin reset diberi logika tinggi selama sekurangnya dua siklus mesin (24 periode osilator). Untuk membangkitkan sinyal reset, kapasitor dihubungkan dengan VCC dan sebuah resistor yang dihubungkan ke *ground*.

4.2.8 LCD (*Liquid Crystal Display*)

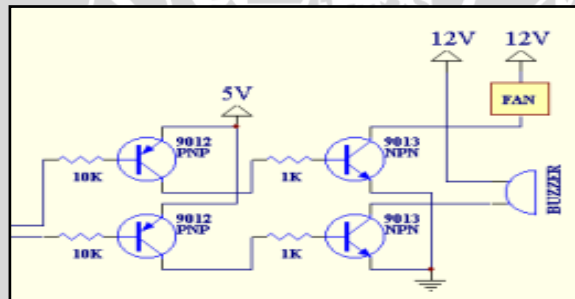
LCD yang digunakan adalah tipe M1632 (16 kolom x 2 baris). *Bus* data LCD (D0-D7) terhubung dengan *port* 0 mikrokontroler (P0.0-P0.7). LCD dioperasikan hanya untuk menerima data, sehingga pin R/W dihubungkan dengan *ground*. RS dihubungkan dengan pin 2.6 dari mikrokontroler. Sedangkan untuk mengaktifkan E (*Enable*) LCD dibutuhkan keluaran dari pin 2.7. Tingkat kecerahan LCD dapat diatur dengan menggunakan resistor variabel 1 k Ω . Gambar LCD dan konfigurasi pinnya dapat dilihat dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Rangkaian LCD
Sumber : Perancangan

4.2.9 Driver Fan dan Buzzer

Rangkaian driver *fan* digunakan untuk mengaktifkan *fan*. Rangkaian driver *fan* ini sama prinsipnya dengan rangkaian driver *buzzer*. *Fan* dan *buzzer* masing-masing dihubungkan oleh dua buah transistor yaitu transistor PNP dan transistor NPN. Skema dari rangkaian driver *fan* dan *buzzer* ditunjukkan dalam Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Rangkaian Driver Fan dan Buzzer
Sumber : Perancangan

Analisis perhitungan arus pada transistor-transistor tersebut yaitu:

$$I_{b1} = \frac{V - V_{be}}{R} = \frac{5 - 0,7}{10 \cdot 10^3} = 0,43 \text{ mA}$$

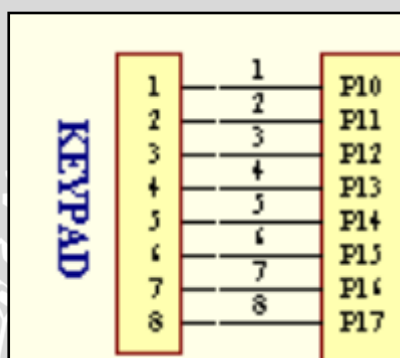
$$I_{c1} = I_{b1} \times H_{fe} = 0,43 \cdot 10^{-3} \times 60 = 25,8 \text{ mA}$$

$$I_{b2} = \frac{V - V_{be}}{R} = \frac{5 - 0,7}{10^3} = 4,3 \text{ mA}$$

$$I_{c2} = I_{b2} \times H_{fe} = 4,3 \cdot 10^{-3} \times 60 = 258 \text{ mA}$$

4.2.10 Keypad

Keypad sering digunakan sebagai suatu *input* pada beberapa peralatan yang berbasis mikroprosesor atau mikrokontroler. Keypad sesungguhnya terdiri dari sejumlah saklar, yang terhubung sebagai baris dan kolom. Agar mikrokontroler dapat melakukan *scan* keypad, maka *port* mengeluarkan salah satu bit dari 4 bit yang terhubung pada kolom dengan logika *low* “0” dan selanjutnya membaca 4 bit pada baris untuk menguji jika ada tombol yang ditekan pada kolom tersebut. Sebagai konsekuensi, selama tidak ada tombol yang ditekan, maka mikrokontroler akan melihat sebagai logika *high* “1” pada setiap pin yang terhubung ke baris. Rangkaian keypad pada perancangan ini ditunjukkan dalam Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Rangkaian Keypad
Sumber: Perancangan

Keypad berfungsi sebagai pengkode data dari papan keypad ke mikrokontroler untuk diolah menjadi data digital. Data digital ini nantinya digunakan sebagai masukan bagi mikrokontroler untuk *input*. Banyaknya kode digital yang dapat dikonversikan tergantung dari jumlah baris dan kolom masukan dari papan keypad atau bisa dikatakan jumlah data yang dikonversikan dalam perkalian baris dan kolom masukan.

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Tujuan pengujian sistem ini adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini dibagi menjadi tujuh bagian, yaitu :

- Pengujian sensor suhu
- Pengujian sensor massa
- Pengujian ADC
- Pengujian mikrokontroler
- Pengujian LCD
- Pengujian sistem secara keseluruhan

5.1 Pengujian Sensor Suhu

5.1.1 Tujuan Pengujian

Pengujian rangkaian sensor suhu tipe LM35 bertujuan untuk mengetahui tingkat keakurasian dari sensor tersebut. Jika tanggapan sensor suhu baik maka setiap perubahan suhu ruangan sebesar 1°C juga akan menyebabkan perubahan nilai V_{out} pada sensor suhu sebesar 10mV.

$$V_{out} = T \times 10mV \quad (5-1)$$

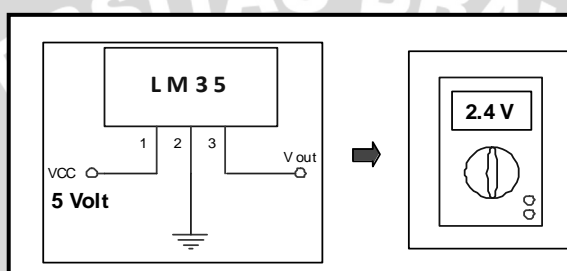
$$T = \text{suhu ruangan}$$

5.1.2 Peralatan Pengujian

- Catu daya
- Sensor suhu LM35
- Termometer analog
- Multimeter digital
- Pemanas dan fan

5.1.3 Langkah Pengujian

- Menyusun rangkaian pengujian sensor suhu seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.1.
- Memastikan rangkaian sudah tersusun dengan benar sebelum terhubung ke catu daya.
- Menghubungkan catu daya ke rangkaian pengujian.
- Mengatur suhu udara sehingga dapat berubah-ubah sesuai yang diinginkan dengan menggunakan pemanas dan fan.
- Mengukur tegangan keluaran sensor dengan menggunakan multimeter.
- Memasukkan hasil pengukuran ke dalam Tabel 5.1.



Gambar 5.1. Diagram Blok Pengujian Sensor Suhu
Sumber: Pengujian

5.1.4 Hasil Pengujian dan Analisis

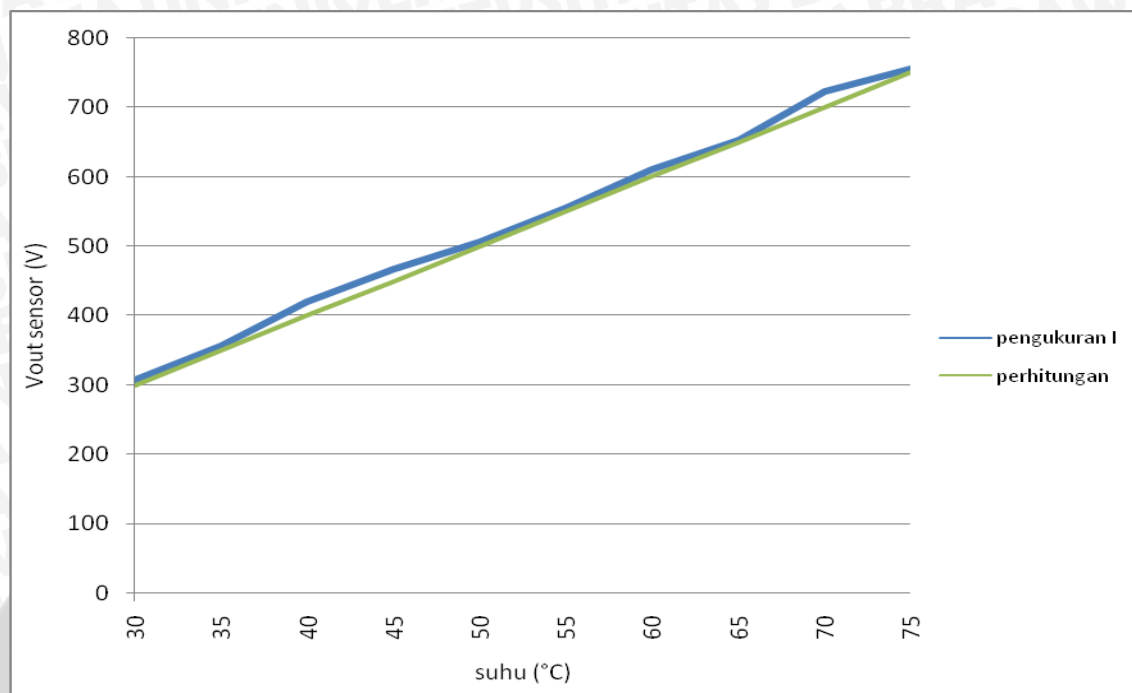
Hasil pengujian sensor suhu ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Hasil Pengujian Sensor Suhu

No.	Suhu (°C)	Vout sensor (mV)		Kesalahan (%)
		Perhitungan	Pengukuran	
1	30	300	308	2,67
2	35	350	357	2
3	40	400	420	5
4	45	450	468	4
5	50	500	507	1,4
6	55	550	555	0,9
7	60	600	610	1,67
8	65	650	652	0,3
9	70	700	722	3,14
10	75	750	755	0,67
Kesalahan rata-rata (%)				2,17

Sumber: Pengujian

Data dalam Tabel 5.1 dapat digambarkan menjadi bentuk grafik seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Antara Kondisi Suhu Dengan V_{out} pada Sensor Suhu
Sumber: Pengujian

Dari grafik dalam Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa respon tegangan keluaran kedua sensor suhu terhadap perubahan temperatur adalah mendekati linier dapat dilihat bahwa respon tegangan keluaran sensor suhu terhadap perubahan temperatur memiliki kesalahan rata-rata masing-masing sebesar 2,17%. Prosentase kesalahan didapatkan dengan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{Kesalahan} = \frac{|V_{out \text{ Perhitungan}} - V_{out \text{ Pengukuran}}|}{V_{out \text{ Perhitungan}}} \times 100\% \quad (5-2)$$

$$\% \text{Kesalahan rata-rata} = \frac{\sum \% \text{Kesalahan}}{n} \quad (5-3)$$

n = banyaknya pengujian yang dilakukan

Adanya perbedaan nilai antara perhitungan dan pengukuran dikarenakan :

- Sensor suhu LM35 yang digunakan mempunyai nilai toleransi keakuratan sebesar $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ atau sebanding dengan $\pm 4\text{mV}$
- Pembacaan yang tidak tepat pada termometer untuk skala yang lebih kecil
- Kurang presisinya multimeter sehingga menyebabkan kesalahan dalam pengukuran tegangan keluaran (V_{out}) sensor suhu

5.2 Pengujian Sensor Massa (*Load Cell*)

5.2.1 Tujuan Pengujian

Pengujian sensor massa (*load cell*) bertujuan untuk mengetahui rangkaian berfungsi dengan baik sesuai dengan program yang diberikan oleh mikrokontroler.

5.2.2 Peralatan Pengujian

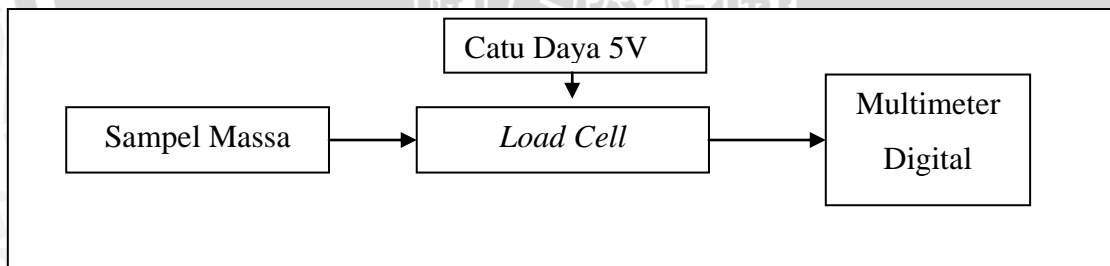
Peralatan yang dibutuhkan antara lain:

- multimeter digital
- catu daya +5 V
- rangkaian sensor massa (*load cell*)
- sampel massa

5.2.3 Langkah Pengujian

Langkah-langkah pengujiannya adalah:

- merangkai peralatan seperti dalam Gambar 5.3 keluaran rangkaian terhubung dengan multimeter digital
- mengaktifkan catu daya
- menaruh sampel massa
- mencatat tegangan yang tampak pada multimeter digital saat *load cell* diberikan beban sampel yang berbeda-beda



Gambar 5.3 Diagram Blok Pengujian Sensor Massa
Sumber: Pengujian

5.2.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Tabel 5.2 Hasil Pengujian *Load cell*

Massa (gr)	V+ (V)	V- (V)	Vin (mV)	Vout teori (V)	Vout praktek (V)	% Error
0	2.500000	2.500000	0	0	0	0
300	2.500029	2.499970	0.059405	0.3	0.29	3.33
600	2.500059	2.499940	0.118811	0.6	0.59	1.67
900	2.500089	2.499910	0.178217	0.9	0.85	5.55
1200	2.500118	2.499881	0.237623	1.2	1.17	2.50
1500	2.500148	2.499851	0.297030	1.5	1.57	4.60
1800	2.500178	2.499821	0.356435	1.8	1.83	1.67
2100	2.500207	2.499792	0.415841	2.1	2.05	2.38
2400	2.500237	2.499762	0.475247	2.4	2.33	2.91
2700	2.500267	2.499733	0.534653	2.7	2.67	1.11
3000	2.500297	2.499703	0.594059	3.0	2.89	3.67

Sumber: Pengujian

5.3 Pengujian ADC PCF8591

5.3.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian rangkaian ADC PCF 8591 adalah untuk mengetahui hasil pengkonversian data oleh ADC.

5.3.2. Peralatan Pengujian

1. Rangkaian ADC PCF 8591
2. Sumber tegangan 5 volt
3. Resistor 330 Ω
4. LED

5.3.3. Langkah Pengujian

1. Menghubungkan pin 9 (SDA) dan pin 10 (SCL) ADC PCF 8591 dengan rangkaian saklar
2. Menghubungkan rangkaian pengujian ADC PCF 8591 dengan resistor 330 Ω , led, dan sumber tegangan 5 V
3. Ketika ADC itu diberikan clock pada kaki SCL dengan SDA diberi perintah untuk menerjemahkan data konversi analog ke digital maka LED akan menyala dan mati
4. Mengamati LED yang menyala dan mati kemudian mencatat hasilnya pada tabel

5.3.4. Hasil Pengujian dan Analisis

Untuk mengetahui perubahan tegangan tiap bit ($V_{perstep}$) ADC adalah dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui : $V = 5 \text{ Volt}$ Step ADC = 2^8 (255), maka

$$\begin{aligned}
 V_{perstep} &= \frac{V_{max}}{255} \\
 &= \frac{5}{255} = 0,0196 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.3 Hasil Pengujian ADC PCF8591

<i>Input</i> Tegangan (V)	SDA	SCL	Data Led	Keterangan
-	90h	Clock	01011010	Kirim base address ke PCF
-	00h	Clock	0000 0000	Pilih ADC ch0
-	91h	Clock	01011011	Tampilan data
0.00	00	Clock	00000000	Tampilan data
0.25	13	Clock	00001101	Tampilan data
0.50	26	Clock	00011010	Tampilan data
0.75	38	Clock	00100110	Tampilan data
1.01	52	Clock	00110100	Tampilan data
1.26	64	Clock	01000000	Tampilan data
1.50	77	Clock	01001101	Tampilan data
1.75	89	Clock	01011001	Tampilan data
2.02	103	Clock	01100111	Tampilan data
2.25	115	Clock	01110011	Tampilan data
2.50	128	Clock	10000000	Tampilan data
2.75	140	Clock	10001100	Tampilan data
3.00	153	Clock	10011001	Tampilan data
3.25	166	Clock	10100110	Tampilan data
3.50	179	Clock	10110011	Tampilan data
3.75	191	Clock	10111111	Tampilan data
4.00	204	Clock	11001100	Tampilan data
4.25	217	Clock	11011001	Tampilan data
4.50	230	Clock	11100110	Tampilan data
4.75	242	Clock	11110010	Tampilan data
4.99	255	Clock	11111111	Tampilan data

Sumber: Pengujian

Sedangkan untuk mengetahui data tegangan keluaran dari ADC ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui $V_{\text{analog}} = 0.25$ Volt, maka

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= \frac{V_{\text{analog}}}{V_{\text{perstep}}} \\ &= \frac{3}{0.0196} = 153.03 = 153 \\ &= 10011001_{(2)} \\ &= 99_{(16)} \end{aligned}$$

5.4 Pengujian Mikrokontroler

5.4.1 Tujuan Pengujian

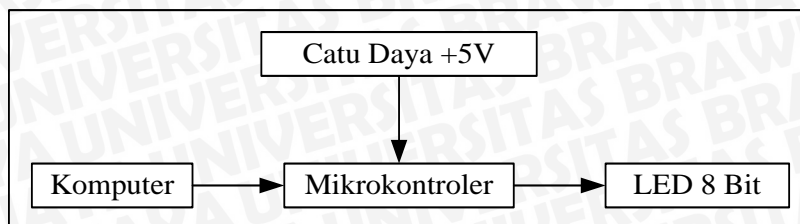
Pengujian mikrokontroler bertujuan untuk mengetahui kondisi awal dari sistem mikrokontroler agar sesuai dengan yang diharapkan.

5.4.2 Peralatan Pengujian

- komputer dengan kabel penghubungnya
- minimum sistem mikrokontroler AT89S51
- lampu LED mewakili keluaran 8 bit
- catu daya +5 volt

5.4.3 Langkah Pengujian

- merangkai peralatan seperti dalam Gambar 5.4 keluaran terhubung dengan lampu LED yang mewakili keluaran 8 bit.
- mengisi mikrokontroler dengan program sederhana yang meletakkan 0FH dan F0H pada Accumulator secara bergantian kemudian memindahkannya ke *port* 1 kemudian download pada mikrokontroler AT89S51.
- mengaktifkan catu daya.
- mereset program untuk mengeluarkan data mikrokontroler.
- mencatat data keluaran yang diwakili oleh lampu LED 8 bit ke dalam bentuk biner.



Gambar 5.4 Diagram Blok Pengujian Mikrokontroler
Sumber: Pengujian

5.4.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Tabel 5.4. Hasil Pengujian Sistem Mikrokontroler

Kondisi	Keluaran pada LED Display							
	Bit 0	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7
I	1	1	1	1	0	0	0	0
II	0	0	0	0	1	1	1	1

Sumber: Pengujian

Dari tabel 5.4 terlihat bahwa *port 1* memberikan logika 0FH dan FOH secara bergantian sesuai dengan isi program.

5.5 Pengujian Sistem LCD

5.5.3 Tujuan Pengujian

Pengujian LCD bertujuan untuk mengetahui LCD masih dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan program yang diberikan oleh mikrokontroler.

5.5.4 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan adalah:

- Mikrokontroler
- LCD
- Catu daya 5 V

5.5.5 Langkah Pengujian

- Menginisialisasi LCD
- Memberi data karakter “A” pada baris pertama dan “B” pada baris kedua.

5.5.6 Hasil Pengujian dan Analisis

Gambar 5.5 Menunjukkan tampilan huruf A pada baris pertama dan huruf B pada baris kedua. Pada tampilan LCD terbukti bahwa data karakter yang diprogram oleh mikrokontroler dapat ditampilkan dengan baik.



Gambar 5.5. Gambar Tampilan LCD pada Alat
Sumber: Pengujian

5.6 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

5.6.1 Tujuan Pengujian

Pengujian sistem secara keseluruhan ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja sistem. Pada pengujian *loop* terbuka (tanpa kontrol) menggunakan suhu maksimal, sedangkan untuk *loop* tertutup (dengan kontrol) menggunakan *set point* 65° C. Pada proses pengujian pengeringan menggunakan jenis pisang ambon dengan tingkat kematangan yang sempurna. Pengujian ini menggunakan sistem keseluruhan antara perangkat keras dan perangkat lunak.

5.6.2 Peralatan Pengujian

1. Catu daya 220V AC
2. Prototype alat pengering sale pisang
4. Pisang Ambon

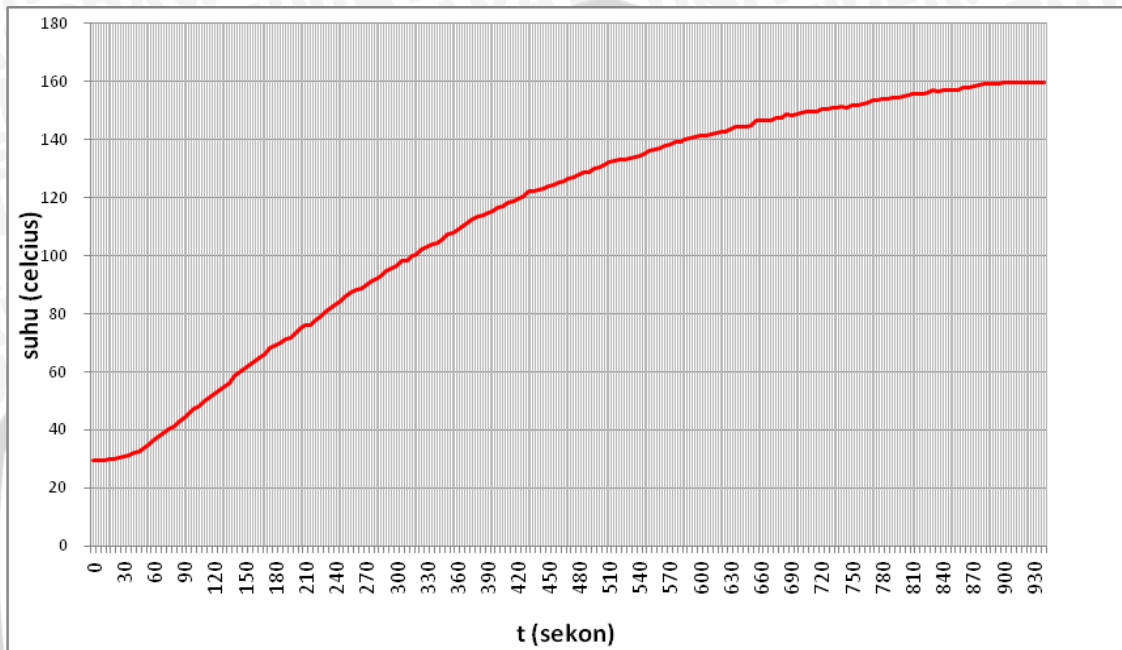
5.6.3 Langkah Pengujian

1. Menyiapkan seluruh perangkat keras (pada pengujian *loop* terbuka dan *loop* tertutup tidak menggunakan buah pisang)
2. Mengaktifkan saklar catu daya
3. Menghitung massa awal buah sebelum dikeringkan
4. Buah diletakkan merata pada rak dalam ruang pengering
5. Mengkondisikan seluruh perangkat alat pengering dengan baik
6. Menjalankan proses pengeringan
7. Mengambil sampel buah setiap 1 jam, selama proses pengeringan
8. Mengukur massa sampel
9. Mencatat data-data

5.6.4 Hasil Pengujian dan Analisis

- **Pengujian *Loop* Terbuka**

Pengujian *loop* terbuka dengan memberikan V_{out} heater maksimal 99% ditunjukkan dalam Gambar 5.6.



Gambar 5.6. Grafik Perubahan Suhu Terhadap Waktu dalam Pengujian *Loop* Terbuka
Sumber: Pengujian

Dari Gambar 5.6 didapatkan waktu penetapan (t_s) : waktu yang diperlukan mencapai *steady state*.

- $t_s = 880$ s

Melalui metode pertama *Ziegler-Nichols* didapatkan perhitungan nilai K_p dan T_i :

$$L = 39,76$$

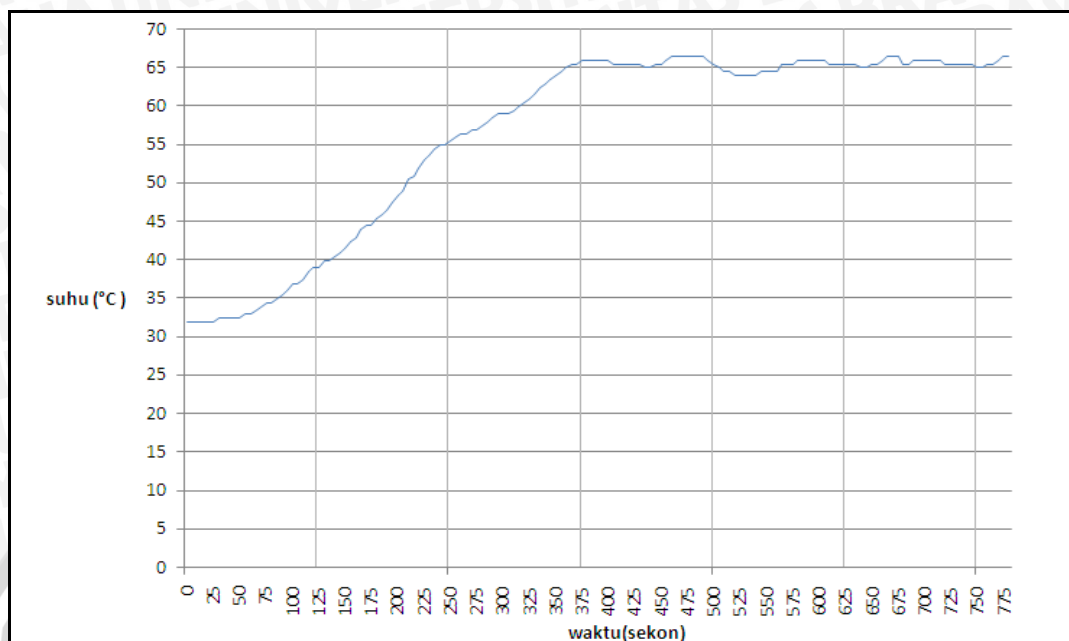
$$T = 482,09$$

$$K_p = 10,9125$$

$$K_i = 0,082$$

- **Pengujian *Loop* Tertutup**

Pengujian *loop* tertutup dengan nilai *set point* 65 °C, $K_p= 10$ dan nilai $K_i= 0,8$



Gambar 5.7. Grafik Perubahan Suhu Terhadap Waktu dalam Pengujian *Loop* Tertutup
Sumber: Pengujian

Dari Gambar 5.7 didapatkan waktu penetapan (t_s) : waktu yang diperlukan mencapai *steady state*.

- $t_s = 350$ s

- **Pengujian Massa Buah Pisang Ambon**

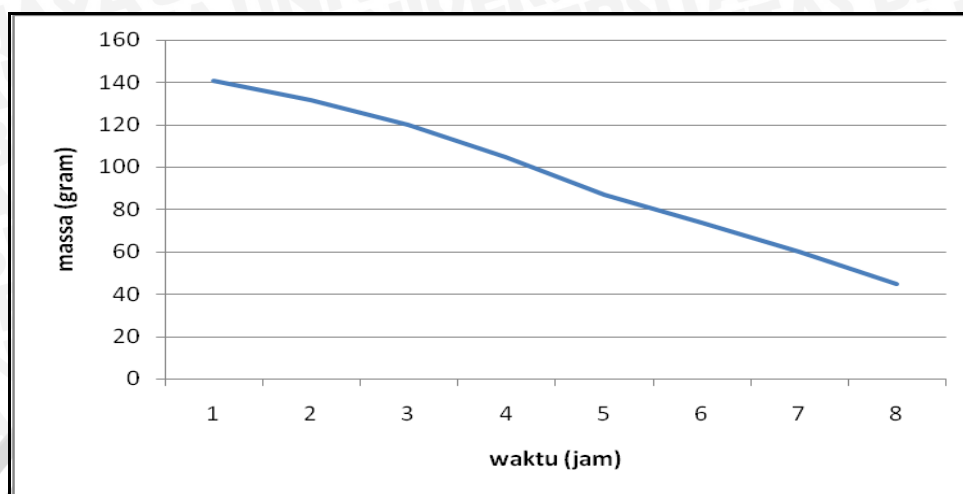
Hasil pengujian massa buah pisang ditunjukkan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5. Data Lama Proses Pengeringan dan Massa yang Dihasilkan

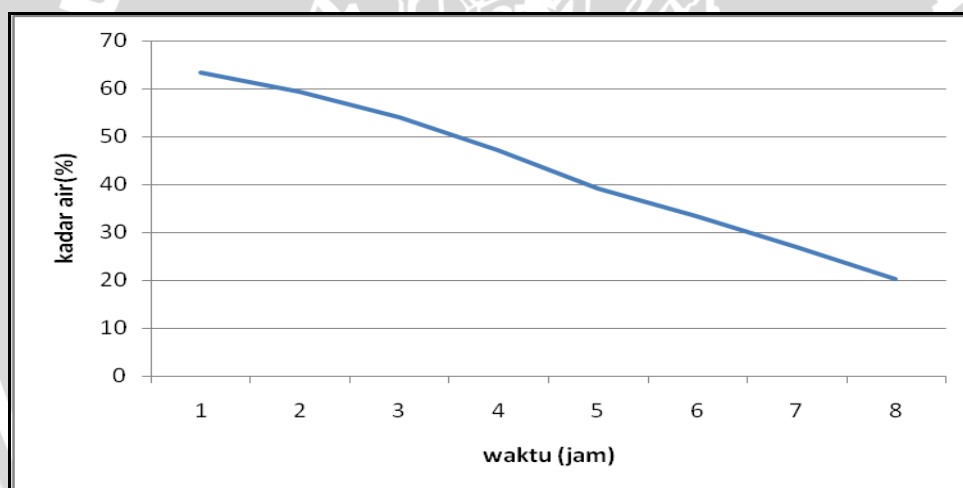
Waktu (jam)	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Kadar Air Awal (%)	Kadar Air Akhir (%)
1	160	141	72	63,45
2	160	132	72	59,40
3	160	120	72	54,00
4	160	105	72	47,25
5	160	87	72	39,15
6	160	74	72	33,30
7	160	60	72	27,00
8	160	45	72	20,25

Sumber: Pengujian

Dari Tabel 5.5 terlihat bahwa massa buah pisang menyusut menjadi 28,12% dari massa awal 160 gram yaitu 45 gram. Data dalam Tabel 5.5 dapat digambarkan menjadi bentuk grafik seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.8 dan Gambar 5.9



Gambar 5.8. Grafik Perubahan Massa Terhadap Waktu
Sumber: Pengujian



Gambar 5.9. Grafik Perubahan Kadar Air Terhadap Waktu
Sumber: Pengujian

Dalam pengujian ini sampel buah pisang diambil setiap 1 jam sekali selama proses pengeringan. Proses pengeringan bertujuan untuk menurunkan kadar air buah pisang pada kisaran 15-20 %. Dari data pada Tabel 5.5 diketahui bahwa kadar air awal adalah 72% dan untuk menurunkan kadar air pada kisaran tersebut dibutuhkan kurang lebih 8 jam proses pengeringan. Nilai *set point* massa adalah 70% nilai massa awal yang berarti proses pengeringan akan berlangsung sampai massa akhir pisang mencapai 30% dari nilai massa awal 160 gram sehingga didapatkan nilai *set point* 48 gram.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada alat pengering sale pisang, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sensor suhu digunakan untuk mendeteksi kondisi suhu di dalam alat pengering sale pisang dengan rata-rata prosentase kesalahan V_{out} sensor suhu sebesar 2,17% dan sensor massa *load cell* digunakan untuk mendeteksi massa selama proses pengeringan dengan rata-rata prosentase kesalahan V_{out} sensor massa sebesar 2,93%.
2. Proses pengeringan pada alat pengering sale pisang ini memerlukan waktu 8 jam untuk menurunkan kadar air buah pisang menjadi 15-20% dengan massa akhir 28% dari massa awal. Parameter penguatan kontroler PI dapat diperoleh dengan metode pertama *Ziegler-Nicholes* dan didapatkan respon terbaik pada *gain* $K_p=10$ dan $K_i=0,8$

6.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan. Agar tercapainya penyempurnaan kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan:

1. Rak pengering dapat dibuat bertingkat sehingga dapat memuat lebih banyak buah pisang.
2. Penyempurnaan konstruksi mekanik *load cell* untuk mengurangi terjadinya kesalahan pembacaan.
3. Bahan untuk rak pengering sebaiknya menggunakan bahan yang lebih tahan panas dan lebih tebal seperti besi stainless, sehingga aman saat bersentuhan langsung dengan buah yang dikeringkan pada keadaan suhu tinggi.
4. Alat pengering buah ini dapat diaplikasikan pada beberapa jenis buah lain seperti apel, mangga, dan lainnya dengan memperhatikan angka kebutuhan suhu dan kadar air yang berbeda-beda untuk setiap jenis buah.
5. Dalam pengujian alat ini sebaiknya menggunakan *stavolt* agar tegangan pada sistem tidak sering berubah.
6. Sistem ini bisa dikembangkan dan diaplikasikan untuk industri sale pisang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2000. *LM35, Precision Centigrade Temperature Sensors*. National Semiconductor.
- Atmel. 2000, *8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash AT89S51*.
<http://www.Atmel.com/AT89S51.pdf>.
- Atmel. 2000, *8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash AT89S51*.
<http://www.Atmel.com/AT89S51.pdf>.
- Charles L. Philips, Royce D. Harbour. 1996. *Sistem Kontrol Lanjutan*. PT. Prenhallindo, Jakarta.
- Coughlin, Robert F. 1982. *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear*, Jakarta: Erlangga.
- Gunterus, F. 1977. *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*. PT Gramedia, Jakarta.
- Malvino, Albert Paul. 1987. *Prinsip-prinsip Elektronika, Jilid 2, Cetakan ketiga*, terjemahan Prof. M. Barmawi, Ph.D, M.O Tjia, Ph.D. Jakarta : Erlangga.
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Modern Control Engineering. Third Edition*. Prentice- Hall International Inc. New Jersey.
- Santosa, Ir.Hieronimus Budi. 1995. *Sale Pisang*. Yogyakarta: Kanisius.
- Suprapti, Ir.M.Lies. 2005. *Aneka Olahan Pisang*. Yogyakarta: Kanisius.