

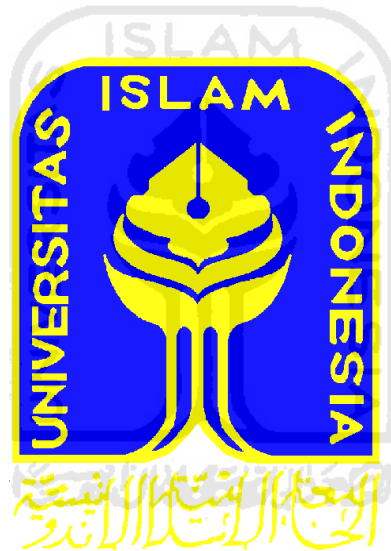
TUGAS AKHIR

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI TEMPERATUR PADA MODUL PENCAMPUR AIR PANAS DAN AIR DINGIN

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



Disusun Oleh:

VIAN RIYANDIKA

05 525 022

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2011**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI TEMPERATUR PADA MODUL PENCAMPUR AIR PANAS DAN AIR DINGIN

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Vian Riyandika

NIM : 05 525 022

Dinyatakan telah diperiksa dan disahkan :

Yogyakarta, Juni 2011

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Agung Nugroho Adi, ST., MT.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI TEMPERATUR PADA MODUL PENCAMPUR AIR PANAS DAN AIR DINGIN

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Vian Riyandika

NIM : 05 525 022

Telah Dipertahankan Di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, Juni 2011

Tim Penguji :

Agung Nugroho Adi, ST., MT.

Ketua

Ir. Zakky Sulistiawan, M.Sc.

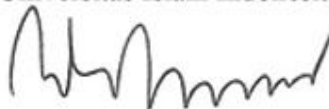
Anggota I

Purtojo, ST. M.Sc.

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Agung Nugroho Adi, ST., MT.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Allah SWT yang telah mencurahkan segala rahmat, hidayah serta karunia-Nya. Hanya kuasa dan kehendak Engkaulah yang bisa membuatku seperti ini.

Nabi Muhamad SAW sebagai teladan dalam menapaki kehidupan.

Bapak & Ibu tercinta yang selalu mendo'akanku, yang tak pernah letih kau menuang kasih sayang utukku, mendidikku, menuntun setiap langkahku.

Pengorbananmu begitu besar baik moral maupun materi yang takkan pernah terbalaskan olehku.

Semoga ALLAH SWT yang akan membalas dengan limpahan rahmat dan ridho-Nya, karena ketidaksanggupanku untuk bisa membalas semuanya untuk selamanya.

Amin Allahuma Amin.

Ibu Harto Mulyono, pakdhe Sutikno sekeluarga, pakdhe Hariyadi sekeluarga, paklek Wahyu sekeluarga, paklek Mugi sekeluarga, mas Wahyu, lek Wiwin, lek Fajar.

Terimakasih atas do'anya, kasih sayang, perhatian, bimbingan, bantuan dan dukungannya. Semoga ALLAH SWT selalu memberikan rahmat dan ridho-Nya kepada kita semua.

Amin.

Keluarga besar Harto Mulyono dan Hadi Harsono.

Semoga hubungan tali persaudaraan tetap terjalin harmonis, saling membantu antara kita semua serta dapat mendatangkan manfaat bagi keluarga dan orang-orang di sekitar kita.

Ari Yulie, terimakasih atas semua waktunya yang penuh arti yang berisikan do'a, perhatian, kesetiaan, pengorbanan, cinta, dan kasih sayang. Karenamu hidupku menjadi lebih berarti, penuh warna dan makna. Kamu adalah dunia dan semangatku. Semoga apa yang kita cita-citakan dan rencanakan dapat terwujud dengan segera.

Amin Ya Rabbal 'Alamin.

Teman-teman TA seperjuanganku, Fiky Alvian, Erwin Herman, Acep Sarif, Yolani Satria, Raju Firman. Teman-teman Teknik Mesin UII angkatan 2005, Angga, Bahtiar, Edual, Roni, Rafik, Bambang.

Terima kasih selama ini telah banyak membantu, berbagi, dan menolongku dalam berbagai hal. Semoga kita menjadi orang sukses dan berguna bagi diri sendiri serta bagi orang lain, yang bisa membanggakan orang tua dan keluarga.

Amin.

Teman-teman SIRO CS dusun Krandon, Sidomoyo, Godean, khususnya warga RT.01 dan RT.02. Semoga kita lebih kompak lagi, tetap semangat, dan tetap jalin silaturahmi.

MOTTO

“Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang menciptakan, Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah, Yang mengajar (manusia) dengan perantaraan kalam. Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya. Ketahuilah! Sesungguhnya manusia benar-benar melampaui batas, karena dia melihat dirinya serba cukup. Sesungguhnya hanya kepada Tuhanmulah kembali (mu)”

(QS. Al 'Alaq: 1-8)

“Niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang dianugrahi ilmu pengetahuan dengan beberapa derajat”

(QS. Al-Mujaadalah: 11)

“Apabila kamu tidak dapat memberikan kebaikan kepada orang lain dengan kekayaanmu, berilah mereka kebaikan dengan wajahmu yang berseri-seri disertai akhlak yang baik”

(Nabi Muhammad SAW)

“Hiduplah seperti pohon kayu yang lebat buahnya hidup ditepi jalan dan dilempari orang tapi dibalas dengan buah”

(Abu Bakar Sibli)

“Musuh yang paling berbahaya di muka bumi ini adalah penakut dan bimbang. Teman yang paling setia, hanyalah keberanian dan keyakinan yang teguh”

(Andrew Jackson)

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum. Wr. Wb.

Alhamdulillahirrobbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala nikmat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir dan menyusun laporan tugas akhir dengan judul “Perancangan Sistem Pengendali Temperatur Pada Modul Pencampur Air Panas dan Air Dingin”. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi besar kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga serta sahabatnya.

Tugas akhir ini adalah sebagai salah satu syarat yang harus ditempuh untuk mendapatkan gelar Sarjana Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini, penyusun mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, dan dorongan semangat dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak. Oleh karena itu, dengan terselesaikannya laporan tugas akhir ini, maka penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat, kenikmatan, dan hidayah-Nya serta petunjuk dan kemudahan dalam melaksanakan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta Bapak Dwi Haryanto dan Ibu Sri Parmini serta keluarga besar, yang selalu memberikan dukungan dan do'a yang tulus ikhlas untuk menaungi langkah perjalanan hidup penyusun.
3. Bapak Ir. Gumbolo HS., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Agung Nugroho Adi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia serta dosen pembimbing tugas akhir yang telah sangat banyak membantu dan

membimbing dengan penuh kesabaran selama proses pengerjaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini.

5. Mbak Indah Kurniasari SP. selaku *Front Office* Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah banyak membantu untuk semua urusan birokrasi dan administrasi selama pengerjaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
6. Ari Yulie, untuk setiap dukungan, doa, dan semangatnya yang selalu siaga menyertai penyusun.
7. Rekan tugas akhirku Fiky Alvian, untuk dorongan serta bantuannya.
8. Teman-teman bimbingan tugas akhir Bapak Agung Nugroho Adi ST., MT., Erwin dan Acep, untuk kerjasamanya.
9. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2005 dan semua mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia untuk dukungannya, salam *solidarity forever*.
10. Serta ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang tidak bisa penyusun sebutkan namanya satu persatu di sini. Semoga Allah membalas kebaikan kalian semua. Amin.

Tak ada gading yang tak retak, tentunya juga dalam penyusunan laporan ini, penyusun menyadari masih banyak kekurangan dan kesalahan yang belum dimengerti. Untuk itu penyusun sangat mengharapkan kritik serta saran dari semua pihak, guna menyempurnakan proses penulisan laporan-laporan selanjutnya. Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi yang positif bagi kita semua. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.,

Yogyakarta, Juni 2011

Penyusun

ABSTRAKSI

Kebutuhan akan pengendalian suatu kondisi semakin banyak diperlukan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari. Pada proses industri, sistem-sistem yang dikendalikan saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya. Perubahan atau kesalahan yang terjadi pada suatu sistem dapat mempengaruhi proses secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan sistem kendali pada masing-masing sistem sehingga memiliki tanggapan cepat, ketepatan tinggi, dan dapat menerima kondisi lingkungan yang berat serta dapat mengatasi ketidaklinieran sistem yang mungkin ada. Untuk mengendalikan temperatur, tidak lagi memerlukan peran manusia secara langsung. Tetapi peran itu telah menjadi bagian kerja sistem pengendali secara otomatis. Untuk itu dirancang sebuah sistem otomatis pengisian air dalam bak penampungan serta sistem kendali temperatur air yang dapat dikendalikan dan ditampilkan melalui suatu komputer untuk menghasilkan temperatur konstan sesuai dengan yang ditentukan. Sistem yang dibuat ini memanfaatkan kemampuan mikrokontroler AVR ATmega 16 dalam akuisisi data dan mengambil keputusan.

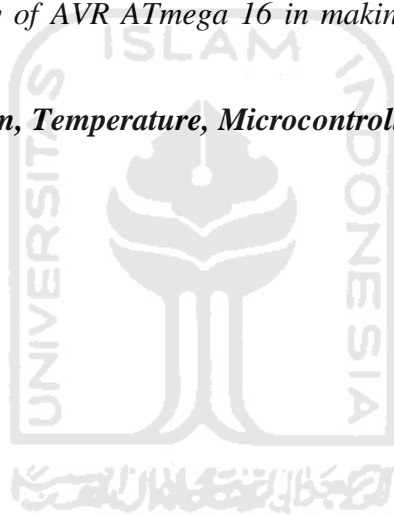
Kata kunci: Sistem Kendali, Temperatur, Mikrokontroler



ABSTRACT

The necessary about control of condition is more and more needed by human in the daily life. In the process of industry, the systems which are controlled have relation each other. The change or fault which is happened at the system can influence the process on the whole. Therefore, it's needed control system for each system, so it has fast response, high accuracy and can accept hard area condition as well as can top the bending of existing system. It doesn't need role of human directly to control the temperature, but this role has become work of control system automatically. So, it has been designed an automatic system of water filling in the storage tank and control system of water temperature which can be controlled and showed by computer to get constant temperature in accordance with determining. The made systems exploit microcontroller capability of AVR ATmega 16 in making accurate the data and taking decision.

Key words: Control System, Temperature, Microcontroller



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAKSI.....	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Sistem Kendali	5
2.1.1 Sistem Kendali Terbuka (<i>Open Loop Control System</i>).....	5
2.1.2 Sistem Kendali Tertutup (<i>Closed Loop Control System</i>)	5
2.2 Mikrokontroler	6
2.2.1 Mikrokontroler AVR ATMega 16	7
2.2.1.1 Fitur ATMega 16	8
2.2.1.2 Konfigurasi Pin ATMega 16	9
2.3 Penguat Operasional (Op-Amp).....	10
2.3.1 Op-Amp LM 358.....	11

2.4	Sensor	11
2.4.1	Sensor Temperatur LM 35.....	11
2.5	Komunikasi Serial.....	12
2.5.1	RS-232.....	14
2.6	Transistor	17
2.7	Pemanas (<i>Heater</i>).....	18
2.8	Pompa Wiper.....	18
2.9	Code Vision AVR	19
2.10	Delphi7	20
BAB 3 PERANCANGAN		22
3.1	Perancangan Sistem.....	22
3.2	Diagram Alir Proses Perancangan.....	23
3.3	Bagian Mekanik	24
3.3.1	Perancangan Mekanik	24
3.3.2	Pembuatan Mekanik	25
3.3.3	Mekanisme Kerja Sistem.....	28
3.4	Bagian Elektronik.....	30
3.4.1	Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega 16.....	30
3.4.2	Pengkondisi Isyarat Op-Amp LM 358	31
3.4.3	ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>).....	34
3.4.4	Driver Pompa Wiper (TIP 120)	34
3.4.5	Pengkondisi Isyarat Sensor Level <i>On-Off</i>	35
3.4.6	Driver Sinyal <i>On-Off</i> Pompa Aquarium dan <i>Heater</i>	37
3.5	Perangkat Lunak.....	38
3.5.1	Perangkat Lunak Pada Mikrokontroler	38
3.5.2	Perangkat Lunak Pada Komputer.....	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		42
4.1	Hasil Perancangan Mekanik	42
4.2	Hasil Perancangan Elektronik.....	43
4.3	Hasil Perancangan Perangkat Lunak.....	45
4.4	Pengujian Rangkaian Sensor Suhu.....	47

4.4.1 Tujuan Pengujian	47
4.4.2 Peralatan Pengujian	47
4.4.3 Prosedur Pengujian.....	47
4.4.4 Hasil Pengujian	47
4.4.5 Analisis Hasil Pengujian.....	48
4.5 Pengujian Rangkaian Penguat.....	49
4.5.1 Tujuan Pengujian	49
4.5.2 Peralatan Pengujian	49
4.5.3 Prosedur Pengujian.....	50
4.5.4 Hasil Pengujian Rangkaian.....	50
4.5.5 Analisis Hasil Pengujian.....	51
4.6 Hasil Pengujian Pengendalian Temperatur.....	53
4.6.1 Pengujian <i>Setpoint</i> Temperatur 40 °C Tanpa Gangguan.....	53
4.6.2 Pengujian <i>Setpoint</i> Temperatur 40 °C Dengan Gangguan.....	56
4.6.2.1 Gangguan Pengurangan.....	56
4.6.2.2 Gangguan Penambahan	60
4.7 Pembahasan.....	64
BAB 5 PENUTUP	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konfigurasi pin RS-232.....	15
Tabel 3.1 Hubungan antara suhu dengan tegangan keluaran dari sensor LM 35.....	32
Tabel 3.2 Hubungan antara suhu dengan tegangan keluaran dari IC Op-Amp LM 358.....	33
Tabel 4.1 Pengujian rangkaian sensor temperatur.....	48
Tabel 4.2 Pengujian rangkaian penguat	50
Tabel 4.3 Hubungan antara level ADC terhadap tegangan referensi ADC	52
Tabel 4.4 Data hasil pengujian temperatur dengan <i>setpoint</i> 40 °C tanpa gangguan	54
Tabel 4.5 Data hasil pengujian temperatur dengan <i>setpoint</i> 40 °C dengan gangguan pengurangan.....	57
Tabel 4.6 Data hasil pengujian temperatur dengan <i>setpoint</i> 40 °C dengan gangguan penambahan.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram blok sistem kendali terbuka	5
Gambar 2.2 Diagram blok sistem kendali tertutup.....	6
Gambar 2.3 Konfigurasi kaki (pin) ATmega 16.....	10
Gambar 2.4 Simbol op-amp	10
Gambar 2.5 Bentuk fisik op-amp LM 358	11
Gambar 2.6 Sensor temperatur LM 35	12
Gambar 2.7 Transmisi <i>simplex</i>	13
Gambar 2.8 Transmisi <i>half duplex</i>	13
Gambar 2.9 Transmisi <i>full duplex</i>	13
Gambar 2.10 Susunan pin DB-9.....	15
Gambar 2.11 Susunan kaki dan konfigurasi IC MAX-232.....	16
Gambar 2.12 Transistor.....	17
Gambar 2.13 Simbol transistor PNP dan NPN.....	17
Gambar 2.14 Elemen pemanas (<i>heater</i>).....	18
Gambar 2.15 Pompa wiper	19
Gambar 3.1 Blok diagram sistem pengendali	22
Gambar 3.2 Diagram alir perancangan alat.....	23
Gambar 3.3 Desain mekanik sistem pengendali temperatur.....	24
Gambar 3.4 Rangka aluminium.....	25
Gambar 3.5 Bak 1 dan bak 2	26
Gambar 3.6 Bak 3	26
Gambar 3.7 Bak 4.....	27
Gambar 3.8 Pembuatan mekanik sistem pengendali temperatur.....	27
Gambar 3.9 Mekanisme kerja sistem pengendali.....	28
Gambar 3.10 Skematik rangkaian minimum mikrokontroler ATmega 16.....	31
Gambar 3.11 Skematik rangkaian pengkondisi isyarat Op-Amp LM 358	32
Gambar 3.12 Skematik rangkaian driver motor (TIP 120)	35

Gambar 3.13 Skematik rangkaian pengkondisi isyarat level <i>on-off</i>	36
Gambar 3.14 Skematik rangkaian driver sinyal <i>on-off</i>	37
Gambar 3.15 Flowchart program utama pada mikrikontroler.....	38
Gambar 3.16 Flowchart program utama pada komputer	40
Gambar 3.17 Flowchart program utama pada komputer	41
Gambar 4.1 Hasil perancangan mekanik	42
Gambar 4.2 Hasil perancangan elektronik	43
Gambar 4.3 Tampak depan box rangkaian elektronik.....	45
Gambar 4.4 Tampilan pemrograman komputer dengan <i>software</i> Delphi 7.....	46
Gambar 4.5 Grafik pengujian rangkaian sensor temperatur	48
Gambar 4.6 Grafik hubungan temperatur dengan level ADC.....	51
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara level ADC terhadap tegangan referensi ADC	52
Gambar 4.8 Grafik pengujian temperatur dengan <i>setpoint</i> 40 °C tanpa gangguan	53
Gambar 4.9 Grafik pengujian temperatur dengan <i>setpoint</i> 40 °C dengan gangguan pengurangan	56
Gambar 4.10 Grafik pengujian temperatur dengan <i>setpoint</i> 40 °C dengan gangguan penambahan	60

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan pengendalian suatu kondisi semakin banyak diperlukan oleh manusia. Hadirnya konsep teknologi otomasi telah memberikan kontribusi besar bagi pertumbuhan maupun perkembangan teknologi secara umum. Demikian pula untuk sistem pengendalian sebuah perangkat. Untuk banyak hal, manusia tidak ingin direpotkan dengan peranannya yang khusus mendukung sisi kehidupan manusia. Jika memungkinkan, suatu teknologi ingin dibuat seminimal dan sesederhana mungkin tetapi mempunyai peranan yang cukup besar.

Seiring berkembangnya sistem kendali pada teknologi industri, maka semakin dibutuhkan peningkatan kualitas hasil produksi dan bagaimana cara mempermudah jalannya operasi industri. Pada proses industri, sistem-sistem yang dikendalikan saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya. Perubahan atau kesalahan yang terjadi pada suatu sistem dapat mempengaruhi proses secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan sistem kendali pada masing-masing sistem sehingga memiliki tanggapan cepat, ketepatan tinggi, dan dapat menerima kondisi lingkungan yang berat serta dapat mengatasi ketidaklinieran sistem yang mungkin ada.

Seperti halnya dalam menangani pengendalian temperatur. Untuk menjaga kestabilannya tidak lagi memerlukan peran manusia secara langsung. Tetapi peran itu telah menjadi bagian kerja sistem pengendali secara otomatis. Walaupun ada, peran manusia lebih pada setting kondisi yang diperlukan.

Sistem kendali yang digunakan sebagai otomasi industri, salah satunya menggunakan mikrokontroler. Mikrokontroler adalah suatu terobosan teknologi mikroprosesor dan mikrokomputer, yang mana teknologi yang digunakan adalah teknologi semikonduktor dengan memuat banyak kandungan transistor yang terintegrasi, namun hanya membutuhkan ruang kecil dan bersifat portabel.

Dalam beberapa kondisi tertentu, seseorang membutuhkan air panas sekitar suhu $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk mandi, misalnya pada pagi hari. Saat suhu udara masih dingin, dimana setiap orang harus setiap hari mandi sebelum mulai melaksanakan aktivitas rutin. Misalkan lagi saat pada malam hari, seseorang ingin menyegarkan badan dengan mandi setelah seharian lelah bekerja. Tetapi tidak berani mandi dengan air dingin. Maka jika mandi dengan air panas, tentu terasa nyaman. Lelah di sekujur badan terasa hilang. Air panas juga dibutuhkan saat kondisi tubuh kurang sehat. Jika memaksakan diri untuk mandi dengan air dingin, maka bisa dipastikan kondisi tubuh akan memburuk. Dalam kehidupan sehari-hari ini, pengendalian temperatur juga diaplikasikan pada temperatur mesin pentetap telur, temperatur pada ruang inkubator, temperatur ruangan oleh mesin AC. Pengendalian temperatur juga diaplikasikan dalam dunia industri, misalnya temperatur proses pencampuran kimia, temperatur proses peleburan bijih besi dan lain-lain.

Untuk itu dirancang sebuah sistem otomatis pengisian air dalam bak penampungan serta sistem kendali temperatur air yang dapat dikendalikan melalui suatu komputer untuk menghasilkan temperatur konstan sesuai dengan yang ditentukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat diambil suatu rumusan masalah yaitu bagaimana merancang sistem kendali temperatur agar dapat diperoleh temperatur konstan sesuai dengan keinginan yang dapat dikendalikan dan ditampilkan melalui perangkat komputer yang mana sumber airnya berasal dari dua buah percampuran air yang keadaan temperaturnya berbeda yaitu suhu air dalam kamar dan suhu air mendidih.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan masalah, menghindari kerancuan, serta ruang lingkup pembahasan ini menjadi jelas dan sesuai dengan hal-hal yang diinginkan, maka batasan masalah dalam pembahasan topik tugas akhir ini meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Obyek yang digunakan berupa air yang masing-masing mempunyai temperatur suhu kamar dan suhu air mendidih.
2. Sensor temperatur yang digunakan adalah LM 35.
3. Sistem pengendali menggunakan mikrokontroler AVR ATmega 16.
4. Aktuator menggunakan pompa DC (pompa wiper) dengan tegangan 12 Volt.
5. Jangkauan temperatur yang diukur antara suhu air dalam kamar sampai dengan suhu air mendidih.
6. Sistem kendali menggunakan sistem *on - off*.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan dari topik tugas akhir ini adalah menciptakan alat kendali temperatur yang diinginkan dari dua buah obyek yang keadaannya berbeda melalui suatu perangkat komputer.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari tugas akhir ini adalah:

1. Dapat memberikan suatu pemikiran baru (inovasi) pada bidang pengendalian temperatur menggunakan suatu mikrokontroler yang dikendalikan melalui komputer.
2. Dapat menentukan kendali apa saja yang harus dipakai agar sistem berjalan dengan stabil dan didapatkan hasil yang baik.
3. Dapat menerapkan ilmu yang didapat di bangku kuliah dalam dunia kerja sehingga bersifat aplikatif.
4. Dapat menjalin hubungan baik antara dunia pendidikan dan dunia industri.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini diuraikan bab demi bab yang disusun secara berurutan untuk mempermudah pembahasan. Dalam penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab pokok bahasan. Bab I berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat dari tugas akhir. Bab II berisi penjelasan mengenai dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian dan pemecahan masalah yang dihadapi. Langkah-langkah dan metode yang digunakan dalam tugas akhir ini terangkum dalam bab III. Kemudian Bab IV berisi mengenai hasil perancangan dan pembuatan kendali yang dilakukan. Sedangkan bab V berisi tentang kesimpulan dari pembahasan dan saran untuk proses penelitian selanjutnya.



BAB 2

LANDASAN TEORI

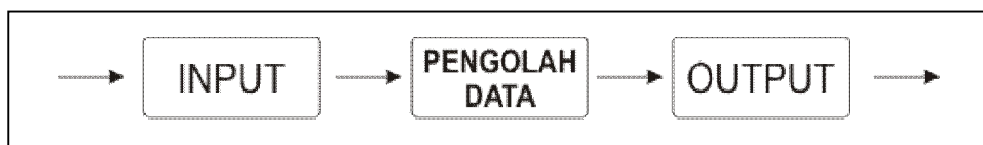
2.1 Sistem Kendali

Sistem kendali merupakan sebuah sistem yang terdiri atas satu atau beberapa peralatan yang berfungsi untuk mengendalikan sistem lain yang berhubungan dengan sebuah proses. Bila variabel proses tersebut berjalan tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka sistem kontrol dapat mengendalikan proses tersebut sehingga sistem dapat berjalan kembali sesuai dengan yang diharapkan. Dari definisi tersebut di atas, maka dapat disimpulkan bahwa sistem kendali merupakan suatu kesatuan unsur-unsur yang saling terkait baik secara konsep maupun fisik. Sistem kendali ini secara umum terdiri dari tiga bagian yaitu *input*, proses dan *output*.

2.1.1 Sistem Kendali Terbuka (*Open Loop Control System*)

Sistem lup terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh langsung terhadap aksi pengontrolan (Ogata, 1984).

Untuk kerja dan akurasi dari aksi kendali sistem ini tergantung dari kalibrasi sistem, jika terdapat gangguan pada sistem maka sistem harus dikalibrasi ulang. Dengan kata lain sistem lup terbuka *outputnya* tidak digunakan sebagai bahan pembanding untuk keluaran berikutnya.

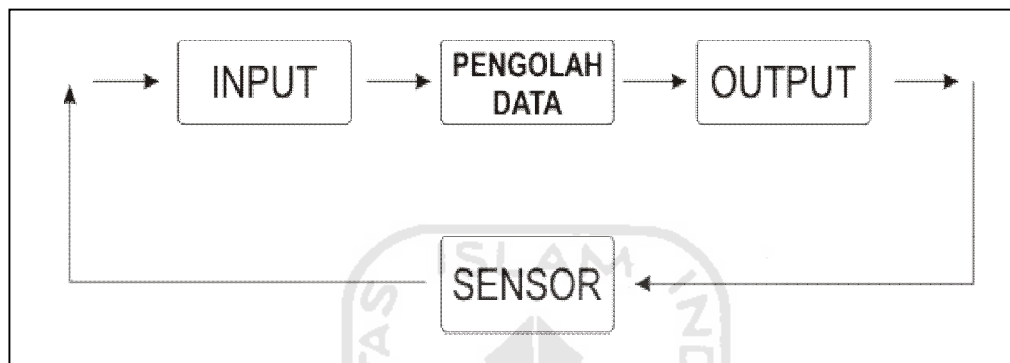


Gambar 2.1 Diagram blok sistem kendali terbuka

2.1.2 Sistem Kendali Tertutup (*Closed Loop Control System*)

Sistem kendali dengan lup tertutup adalah metode dimana sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung terhadap pengontrolannya (Ogata, 1984). Metode ini menggunakan umpan balik (*feedback*) sebagai acuan untuk melakukan langkah selanjutnya. Pada pengontrolan lup tertutup sinyal kesalahan

yang bekerja yaitu perbedaan antara sinyal masukan dan sinyal keluaran akan diperbandingkan, begitu seterusnya, sehingga sinyal keluaran dari lup tertutup akan berubah. Sistem lup tertutup berfungsi untuk mereduksi sistem dari kesalahan tetapi bukan berarti sistem lup tertutup terhindar dari kelemahan. Dengan sistem lup tertutup diharapkan hasil keluaran dapat mengoreksi masukan agar mencapai hasil yang diinginkan.



Gambar 2.2 Diagram blok sistem kendali tertutup

2.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler pada dasarnya adalah komputer dalam satu chip, yang di dalamnya terdapat mikroprosesor, memori, jalur *input/ouput* (I/O), dan perangkat pelengkap lainnya. Kecepatan pengolahan data pada mikrokontroler lebih rendah jika dibandingkan dengan PC. Pada PC kecepatan mikroprosesor yang digunakan saat ini telah mencapai orde GHz, sedangkan kecepatan operasi mikrokontroler pada umumnya berkisar antara 1 - 16 MHz. Begitu juga kapasitas RAM dan ROM pada PC yang bisa mencapai Gbyte, dibandingkan dengan mikrokontroler yang hanya berkisar pada orde byte/ Kbyte.

Meskipun kecepatan pengolahan data dan kapasitas memori pada mikrokontroler jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan komputer personal, namun kemampuan mikrokontroler sudah cukup untuk dapat digunakan pada banyak aplikasi terutama karena ukurannya yang kompak. Mikrokontroler sering digunakan pada sistem yang tidak terlalu kompleks dan tidak memerlukan kemampuan komputasi yang tinggi (Agung Nugroho, 2010).

2.2.1 Mikrokontroler AVR ATMega 16

Mikrokontroler AVR merupakan pengontrol utama standar industri dan riset yang saat ini paling banyak digunakan. Hal ini dikarenakan berbagai kelebihan yang dimilikinya dibandingkan mikroprosesor, yaitu murah, dukungan *software* dan dokumentasi yang memadai, dan memerlukan komponen pendukung yang sangat sedikit. Mikrokontroler AVR adalah mikrokontroler RISC (*Reduce Instruction Set Compute*) 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard, yang dibuat oleh Atmel pada tahun 1996. AVR mempunyai kepanjangan *Advanced Versatile RISC* atau *Alf and Vegard's Risc processor* yang berasal dari nama dua mahasiswa Norwegian Institute of Technology (NTH), yaitu Alf-Egil Bogen dan Vegard Wollan.

AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikrokontroler lain, keunggulan mikrokontroler AVR yaitu AVR memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus clock, lebih cepat dibandingkan dengan mikrokontroler MCS51 yang memiliki arsitektur CISC (*Complex Instruction Set Compute*) di mana mikrokontroler MCS51 membutuhkan 12 siklus clock untuk mengeksekusi 1 instruksi. Selain itu, mikrokontroler AVR memiliki fitur yang lengkap (ADC internal, EEPROM internal, *Timer/ Counter*, *Watchdog Timer*, PWM, Port I/O, komunikasi serial, Komparator, I₂C), sehingga dengan fasilitas yang lengkap ini, programmer dan desainer dapat menggunakannya untuk berbagai aplikasi sistem elektronika.

Pemrograman mikrokontroler AVR dapat menggunakan *low level language (assembly)* dan *high level language (C, Basic, Pascal, JAVA)* tergantung kompiler yang digunakan. Bahasa *Assembler* mikrokontroler AVR memiliki kesamaan instruksi, sehingga jika pemrograman satu jenis mikrokontroler AVR sudah dikuasai, maka akan dengan mudah menguasai pemrograman keseluruhan mikrokontroler jenis AVR (Widodo, 2008).

2.2.1.1 Fitur ATmega 16

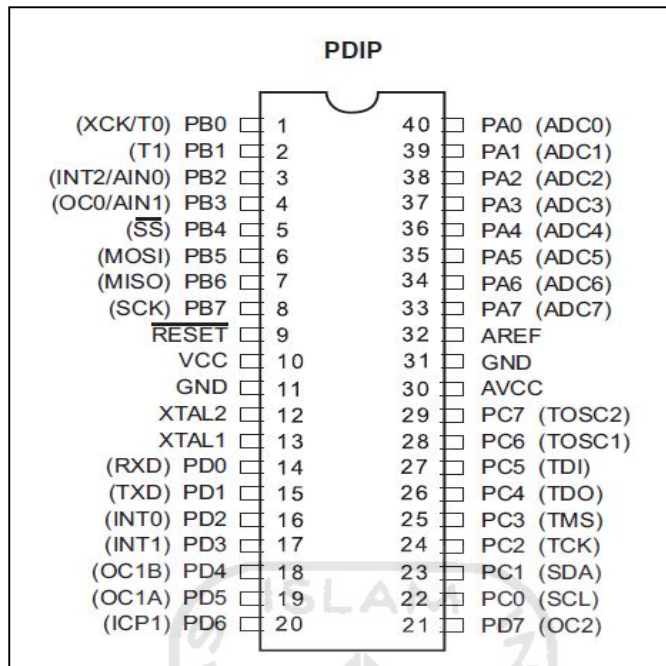
Fitur-fitur yang dimiliki ATmega 16 adalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler AVR 8 bit yang memiliki kemampuan tinggi, dengan daya rendah.
2. Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 MHz.
3. Memiliki kapasitas *Flash* memori 16 KByte, EEPROM sebesar 512 Byte, dan SRAM sebesar 1 Kbyte.
4. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C, dan Port D.
5. CPU yang terdiri atas 32 buah *register*.
6. Unit interupsi internal dan eksternal.
7. Port (USART) untuk komunikasi serial.
8. Fitur *Peripheral*
 - Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan perbandingan.
 - 2 (dua) buah *Timer/Counter* 8 bit dengan *Prescaler* terpisah dan *Mode Compare*.
 - 1 (satu) buah *Timer/Counter* 16 bit dengan *Prescaler* terpisah, *Mode Compare*, dan *Mode Capture*.
 - *Real Time Counter* dengan *Oscillator* tersendiri
 - 4 channel PWM
 - 8 channel, 10-bit ADC
 - 8 *Single-ended Channel*
 - 7 *Differential Channel* hanya pada kemasan TQFP
 - 2 *Differential Channel* dengan *Programmable Gain* 1x, 10x, atau 200x
 - *Byte-oriented Two-wire Serial Interface*.
 - *Programmable Serial USART*.
 - Antarmuka SPI.
 - *Watchdog Timer* dengan *oscillator internal*.
 - *On-chip Analog Comparator*.

2.2.1.2 Konfigurasi Pin ATmega 16

Konfigurasi pin ATmega 16 bisa dilihat pada gambar 2.3. Dari gambar tersebut dapat dijelaskan secara fungsional masing-masing pin ATmega 16 sebagai berikut:

1. VCC merupakan pin masukan positif catu daya.
2. GND merupakan pin ground.
3. Port A (PA0 - PA7) merupakan pin *Input/ Output* dua arah dan dapat diprogram sebagai pin masukan ADC.
4. Port B (PB0 - PB7) merupakan pin *Input/ Output* dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu *timer/ counter*, komparator analog, dan antarmuka SPI.
5. Port C (PC0 - PC7) merupakan pin *Input/ Output* dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu TWI, komparator analog, dan *timer oscillator*.
6. Port D (PD0 - PD7) merupakan pin *Input/ Output* dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu komparator analog, *interupsi eksternal*, dan komunikasi serial.
7. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler.
8. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock eksternal*.
9. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
10. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

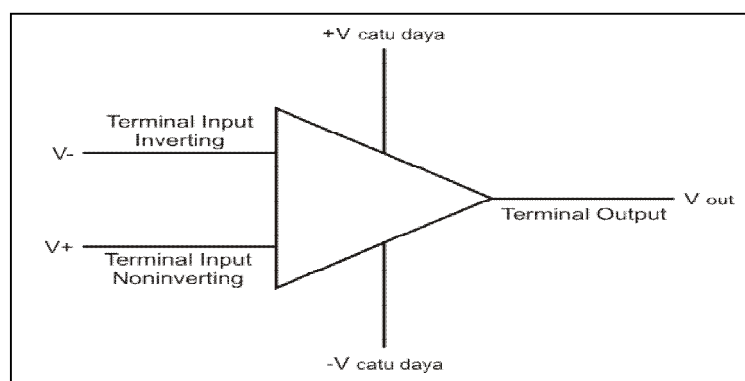


Gambar 2.3 Konfigurasi kaki (pin) ATMega 16

(Sumber: Atmel, ATMega 16 Data Sheet, 2006)

2.3 Penguat Operasional (Op-Amp)

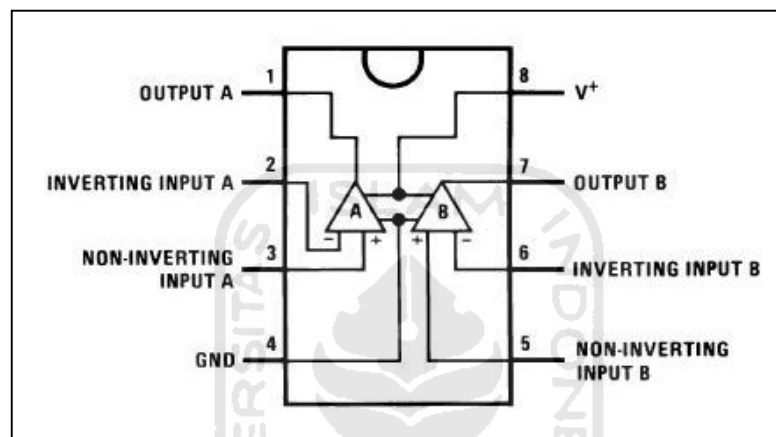
Op-amp adalah rangkaian penguatan yang terintegrasi dalam bentuk integrated circuit (IC). Rangkaian ini merupakan rangkaian serbaguna yang banyak digunakan pada peralatan elektronik. Op-amp mempunyai dua *input*, yaitu terminal *non inverting* dan terminal *inverting*, serta satu *output*. Disebut terminal *inverting* karena fasa tegangannya berlawanan dengan tegangan *output*, sedangkan fasa *non inverting* sama dengan tegangan *output* (Agung Nugroho, 2010).



Gambar 2.4 Simbol op-amp

2.3.1 Op-Amp LM 358

Op-amp LM 358 merupakan salah satu tipe op-amp yang sering digunakan dalam peralatan elektronik yang menggunakan op-amp, sebagai komponen utama penguatannya. Simbol op-amp LM 358 ini sama dengan simbol pada op-amp umumnya, begitupun dengan bentuk fisiknya. Kelebihan dari LM 358 adalah penguatan operasional yang presisi dengan memiliki dua buah penguat operasional sekaligus yang dikemas dalam satu IC.



Gambar 2.5 Bentuk fisik op-amp LM 358

(Sumber: Fairchild Semiconductor, LM 358 Data Sheet, 2000)

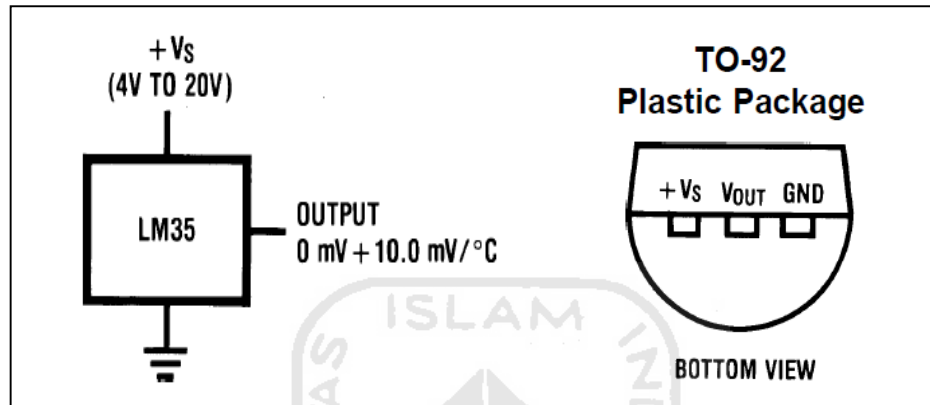
2.4 Sensor

Sensor adalah suatu elemen pada sistem mekatronika atau sistem pengukuran yang menerima sinyal masukan berupa parameter/ besaran fisik dan mengubahnya menjadi sinyal/ besaran lain yang dapat diproses lebih lanjut untuk nantinya dapat ditampilkan, direkam ataupun sebagai sinyal umpan pada sistem kendali (Agung Nugroho, 2010). Pembacaan dan penginderaan yang didapat menjadi tolak ukur kalibrasi.

2.4.1 Sensor Temperatur LM 35

Sensor LM 35 merupakan sensor temperatur yang berbentuk rangkaian terintegrasi dan mempunyai *output* berupa tegangan yang berupa linier dan proporsional terhadap temperatur (skala Celcius) yaitu $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$, yang berarti bahwa setiap kenaikan suhu 1°C maka akan terjadi kenaikan tegangan sebesar

10mV. LM35 tidak memerlukan kalibrasi eksternal untuk menghasilkan akurasi $\pm \frac{1}{4} \text{ }^\circ\text{C}$ pada suhu ruangan. Pada komponen ini mempunyai jangkauan (range) pengukuran suhu yang cukup besar, serta tingkat ketelitian pengukuran cukup tinggi, tegangan kerja antara 4 V - 20 V, V_{out} dari -0,55 V – 1,5 V dengan suhu yang dibaca dari suhu -55 $^\circ\text{C}$ sampai 150 $^\circ\text{C}$ (Heri Andrianto, 2008).



Gambar 2.6 Sensor temperatur LM 35

(Sumber: National Semiconductor, LM 35 Data Sheet, 2000)

2.5 Komunikasi Serial

Untuk melaksanakan komunikasi serial, *byte* data haruslah dikonversikan menjadi *bit* serial menggunakan *parallel in serial out shift register*. Setelah itu data ditransmisikan melalui jalur data tunggal, untuk kemudian pada penerima data diubah menjadi *byte* data kembali menggunakan *serial in parallel out shift register* (Agung Nugroho, 2010). Dalam komunikasi data serial, harus ada penyesuaian antara pengirim dan penerima agar data yang dikirim dapat diterima dengan tepat dan benar oleh penerima.

Transmisi data secara serial dibedakan menjadi 2 metode, yaitu komunikasi data sinkron dan komunikasi data asinkron. Perbedaan ini tergantung pada *clock* pendorong data. Dalam komunikasi data serial sinkron, *clock* untuk *shift register* ikut dikirimkan bersama dengan data serial. Sebaliknya dalam komunikasi data serial asinkron, *clock* pendorong *shift register* tidak ikut dikirim, rangkaian penerima data harus dilengkapi dengan rangkaian yang mampu membangkitkan *clock* yang diperlukan. Untuk mempermudah perancangan,

terdapat berbagai jenis IC untuk komunikasi serial. IC-IC tersebut adalah UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) dan USART (*Universal Synchronous- Asynchronous Receiver Transmitter*) (Agung Nugroho, 2010).

Komunikasi serial merupakan fitur yang penting dalam sistem *embedded*, karena dengan komunikasi serial pengguna dapat dengan mudah menghubungkan mikrokontroler dengan peralatan lainnya. Port serial pada mikrokontroler terdiri atas dua pin, yaitu RxD dan TxD. RxD berfungsi untuk menerima data dari komputer/ peralatan lainnya, sedangkan TxD berfungsi untuk mengirim data ke komputer/ peralatan lainnya. Pengiriman data serial dikirim satu per satu, beserta format data serial yang umum (Widodo, 2008).

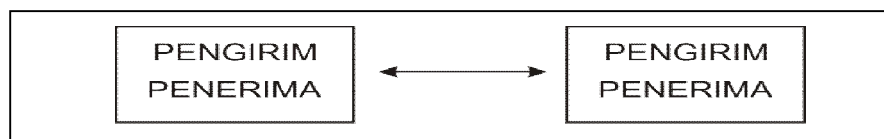
Berdasarkan pengiriman dan penerimaan data, transmisi data dapat dibagi menjadi:

- Transmisi *simplex*, dimana komunikasi dilakukan satu arah, satu peranti berfungsi sebagai pengirim dan peranti lainnya sebagai penerima.



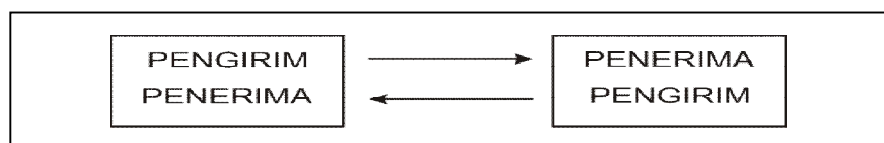
Gambar 2.7 Transmisi *simplex*

- Transmisi *duplex*, dimana komunikasi dilakukan dua arah, pada masing-masing peranti terdapat pengirim dan penerima. Transmisi duplex dibagi menjadi dua, yaitu:
 - *Half duplex*, dimana data hanya dapat dikirim atau diterima saja pada waktu bersamaan.



Gambar 2.8 Transmisi *half duplex*

- *Full duplex*, dimana data dapat dikirim dan diterima secara bersamaan.



Gambar 2.9 Transmisi *full duplex*

2.5.1 RS-232

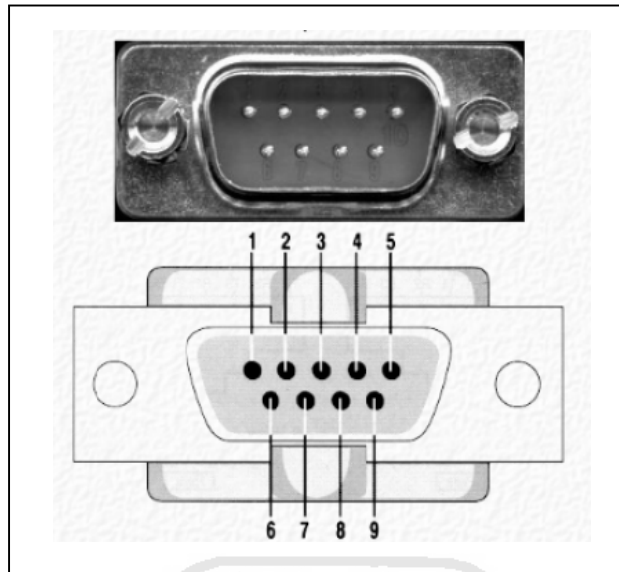
Bagian yang penting dari komunikasi serial adalah konektor DB-9 dan RS-232. DB-9 adalah konektor yang digunakan untuk menghubungkan *hardware* dengan komputer. Sedangkan kegunaan RS-232 adalah sebagai *driver*, yang akan mengonversi tegangan dari *hardware* agar sesuai dengan tegangan pada komputer sehingga data dapat dibaca (Heri Andrianto, 2008).

- RS-232
 - Logic high (1) : -25V s/d -3V
 - Logic low (0) : +3V s/d +25V
- TTL
 - Logic high (1) : +2V s/d +5V
 - Logic low (0) : 0V s/d +0.8V

Rangkaian *interface* menerjemahkan level tegangan RS-232 ke level tegangan TTL dan sebaliknya. Rangkaian *interface* tersebut menggunakan IC MAX-232. RS-232 merupakan standar komunikasi yang dibuat oleh *Electronics Industries Association* pada tahun 1960. Standar ini telah dipergunakan secara luas pada mainframe, mini komputer, modem, dan berbagai macam peripheral lainnya sejak masa sebelum PC berkembang. Karena RS-232 dikembangkan sebelum era TTL, level tegangan *input* dan *output*-nya berbeda dan tidak kompatibel dengan level tegangan TTL.

Spesifikasi elektronik dari serial port menunjuk pada *Electronics Industries Association* (EIA) yaitu:

1. “Space” (logika 0) adalah tegangan antara +3V s/d +25V
2. “Mark” (logika 1) adalah tegangan antara -25V s/d -3V
3. Daerah antara -3V hingga +3V tidak didefinisikan/ tidak dipakai
4. Tegangan open circuit tidak boleh melebihi 25V
5. Arus hubungan singkat maksimal 500mA.



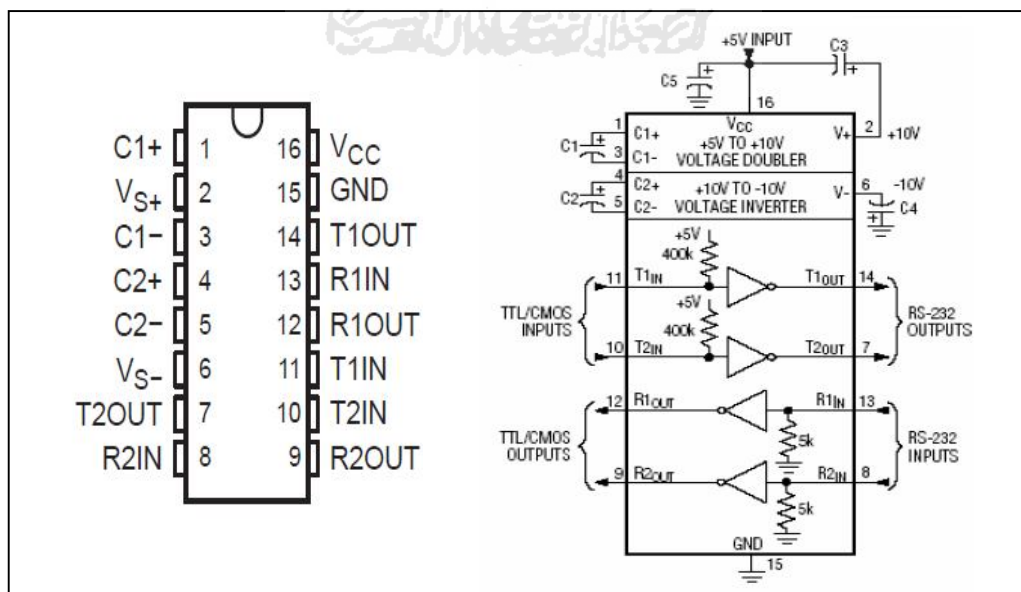
Gambar 2.10 Susunan pin DB-9

Tabel 2.1 Konfigurasi pin RS-232

DB-9	DB-25	Definisi Pin
1	8	DCD (Data Carrier Detect) – PC Input
2	3	RX (Receiver Data) – PC Input
3	2	TX (Transmitter Data) – PC Output
4	20	DTR (Data Terminal Ready) – PC Output
5	7	GND (Signal Ground) – Ref Zero Volts
6	6	DSR (Data Set Ready) – PC Input
7	4	RTS (Request to Send) – PC Output
8	5	CTS (Clear to Send) – PC Input
9	22	RI (Ring Indicator) – PC Input

Keterangan mengenai fungsi saluran RS-232 pada konektor DB-9 adalah sebagai berikut :

- Pin1.** Sebagai Received Line Signal Detect, dengan saluran ini DCE memberitahukan ke DTE bahwa pada terminal masukan ada data masuk.
- Pin2.** Receive Data, digunakan DTE menerima data dari DCE.
- Pin3.** Transmit Data, digunakan DTE mengirimkan data ke DCE.
- Pin4.** Data Terminal Ready, pada saluran ini DTE memberitahukan kesiapan terminalnya.
- Pin5.** Signal Ground, saluran ground
- Pin6.** DCE ready, sinyal aktif pada saluran ini menunjukkan bahwa DCE sudah siap.
- Pin7.** Request to Send, dengan saluran ini DCE diminta mengirim data oleh DTE.
- Pin8.** Clear to Send, dengan saluran ini DCE memberitahukan bahwa DTE boleh mulai mengirim data.
- Pin9.** Ring Indicator, pada saluran ini DCE memberitahukan ke DTE bahwa sebuah stasiun menghendaki hubungannya.



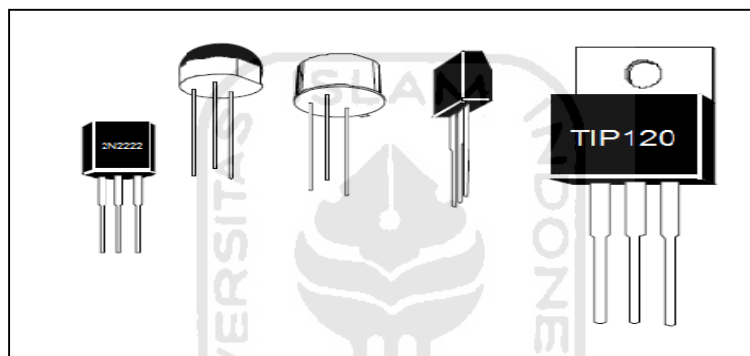
Gambar 2.11 Susunan kaki dan konfigurasi IC MAX-232

(Sumber: Texas Instruments, MAX232 Data Sheet, 2004)

2.6 Transistor

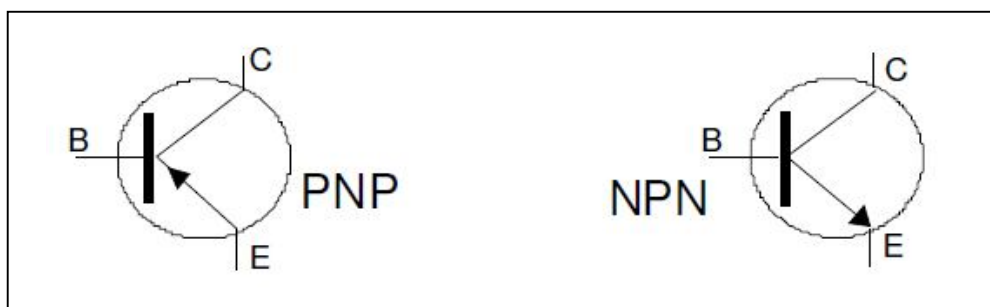
Penemuan transistor bipolar/ Bipolar Junction Transistor (BJT) atau lebih sering disebut transistor adalah penemuan yang membuka jalan dalam pengembangan bidang elektronika, rangkaian terpadu dan digital yang telah mempengaruhi semua bidang kehidupan manusia.

Transistor terdiri dari 3 bagian yang masing – masing berupa lapisan material semikonduktor, yaitu kolektor, emitor, dan basis. Berbagai bentuk transistor terjual di pasaran, bahan selubung kemasannya juga ada berbagai macam misalnya selubung logam, keramik dan ada yang berselubung polyester.



Gambar 2.12 Transistor

Suatu arus listrik yang kecil pada basis akan menimbulkan arus yang jauh lebih besar diantara kolektor dan emitornya, maka dari itu transistor digunakan untuk memperkuat arus (amplifier). Terdapat dua jenis transistor ialah jenis NPN dan jenis PNP. Pada transistor jenis NPN tegangan basis dan kolektornya positif terhadap emitor, sedangkan pada transistor PNP tegangan basis dan kolektornya negatif terhadap tegangan emitor.



Gambar 2.13 Simbol transistor PNP dan NPN

(Sumber: <http://www.kpsec.freeuk.com>)

2.7 Pemanas (*Heater*)

Pemanas atau *heater* adalah suatu bahan yang mampu menghasilkan energi panas bila diberi tegangan bolak-balik. *Heater* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai media pemanas air (fluida). *Heater* yang digunakan dapat diperoleh di toko-toko elektronik. Tegangan kerja *heater* menggunakan arus AC 220 volt.



Gambar 2.14 Elemen pemanas (*heater*)

2.8 Pompa Wiper

Pompa Wiper termasuk salah satu motor yang prinsip kerjanya sama dengan motor DC, yang mana merupakan suatu system mesin yang berfungsi mengubah tenaga listrik arus searah (listrik DC) menjadi gerak atau tenaga mekanik. Salah satu keistimewaan motor DC adalah kecepatannya dapat dikontrol dengan mudah dibandingkan dengan motor AC. Motor DC banyak digunakan untuk kebutuhan aplikasi-aplikasi dengan rentang kecepatan yang lebar. Kecepatan motor DC sebanding dengan besar tegangan yang diberikan pada jangkar, jika semakin besar tegangan jangkar, maka semakin tinggi kecepatan motor (rpm). Tegangan kerja yang digunakan sebesar 12 volt.



Gambar 2.15 Pompa wiper

2.9 Code Vision AVR

Code Vision AVR C Compiler (CVAVR) merupakan compiler bahasa C untuk AVR, Kompiler ini cukup memadai untuk belajar AVR, karena selain mudah penggunaannya juga didukung berbagai fitur yang sangat membantu dalam pembuatan software untuk keperluan pemrograman AVR.

CVAVR ini dapat berjalan di bawah system operasi Windows 9x, Me, NT 4, 2000 dan XP. CVAVR ini dapat mengimplementasikan hampir semua instruksi bahasa C yang sesuai dengan arsitektur AVR, bahkan terdapat beberapa keunggulan tambahan untuk memenuhi keunggulan spesifik dari AVR. Hasil kompilasi objek CVAVR bisa digunakan sebagai source debug dengan AVR Studio debugger dari ATMEL.

Selain pustaka standar bahasa C, CVAVR juga menyediakan pustaka tambahan yang sangat membantu pemrograman AVR, yaitu:

- Alphanumeric LCD modules,
- Philips 12C bus,
- National Semiconductor LM75 Temperature Sensor,
- Philips PCF8563, PCF8583, Maxim/Dallas Semiconductor DS1302 and DS1307 Real Time Clocks,
- Maxim/Dallas Semiconductor 1 Wire protocol,

- Maxim/Dallas Semiconductor DS1820, DS18S20, DS18B20
- Temperature Sensors,
- Maxim/Dallas Semiconductor DS1621
- Thermometer/ Thermostat,
- Maxim/Dallas Semiconductor DS2430 and DS2433 EEPROMs,
- SPI,
- Power management,
- Delays,
- Gray code conversation.

CVAVR juga memiliki program generator yang memungkinkan kita membuat program dengan cepat.

2.10 Delphi 7

Delphi 7 merupakan perangkat pengembangan untuk menghasilkan program aplikasi yang beroperasi dalam lingkungan *windows*. Bahasa pemrograman Delphi 7 merupakan sebuah bahasa pemrograman yang berbasis bahasa turbo pascal (Modul Praktikum Pemrograman Komputer, 2009). Delphi 7 bisa dibuat perangkat pengembang yang mampu dengan mudah dan cepat menghasilkan program aplikasi. Dengan Delphi 7 ini dapat dibangun suatu program aplikasi dalam tatanan GUI (*Graphical User Interface*) maupun Console. GUI (*Graphical User Interface*) adalah karakter-karakter program aplikasi yang menggunakan sarana perantara grafis, seperti kotak dialog, tombol, menu, dan lain sebagainya. Dengan Delphi 7 dapat dengan mudah menyusun sebuah *windows* yang mengandung tombol-tombol, kotak, cek, maupun komponen lain.

1. Kegunaan Delphi
 - a. Untuk membuat aplikasi *windows*
 - b. Untuk merancang aplikasi program berbasis grafis
 - c. Untuk membuat program berbasis jaringan (*client/server*)
 - d. Untuk merancang program .Net (berbasis internet)

2. Keunggulan Delphi

- a. IDE (*Integrated Development Environment*) atau lingkungan pengembangan aplikasi sendiri adalah satu dari beberapa keunggulan Delphi, didalamnya terdapat menu – menu yang memudahkan kita untuk membuat suatu proyek program.
- b. Proses kompilasi cepat, pada saat aplikasi yang kita buat dijalankan pada Delphi, maka secara otomatis akan dibaca sebagai sebuah program, tanpa dijalankan terpisah.
- c. Mudah digunakan, *source* kode Delphi yang merupakan turunan dari pascal, sehingga tidak diperlukan suatu penyesuain lagi.
- d. Bersifat *multi purphase*, artinya bahasa pemograman Delphi dapat digunakan untuk mengembangkan berbagai keperluan pengembangan aplikasi.



BAB 3

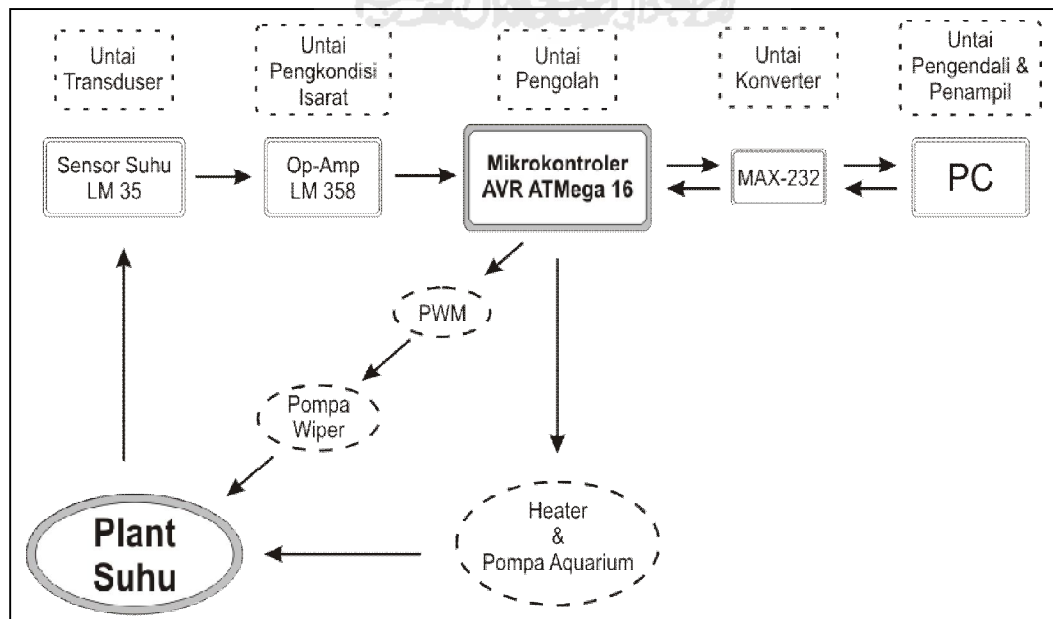
PERANCANGAN

3.1 Perancangan Sistem

Pada pengerjaan tugas akhir ini, sistem dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian mekanik (rangka dan bak penampung air), bagian elektronik (mikrokontroler, sensor, op-amp, dan driver sebagai aktuator untuk pompa wiper, pompa aquarium maupun heater), dan bagian perangkat lunak (pemrograman).

Diagram blok alat kendali temperatur pada modul pencampur air panas dan air dingin, terbagi menjadi beberapa blok diagram, meliputi:

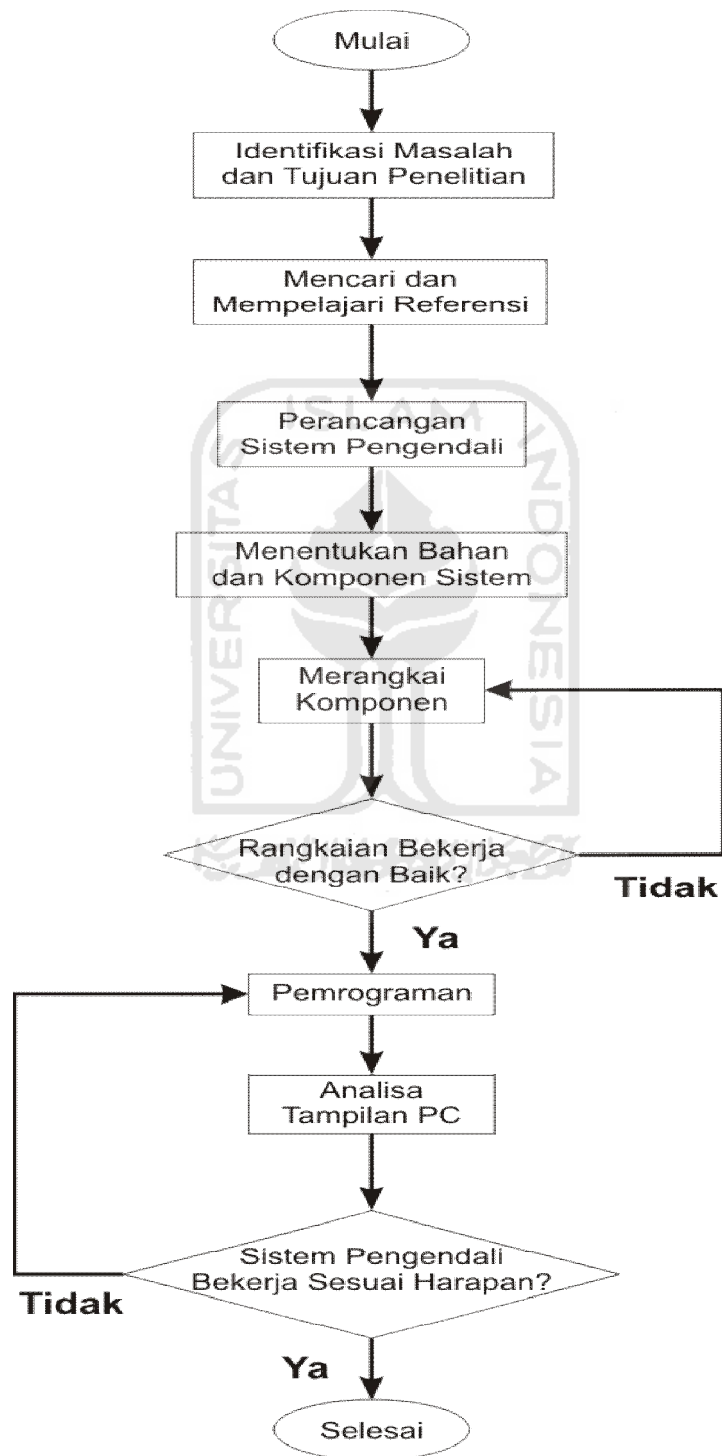
1. Sensor suhu LM 35 sebagai transduser yang merubah nilai suhu ke dalam nilai tegangan.
2. Op-amp sebagai penguat nilai tegangan dari sensor suhu yang selanjutnya masuk ke dalam port ADC pada mikrokontroler.
3. Mikrokontroler sebagai pengolah data dari sensor maupun dari komputer.
4. MAX-232 sebagai konverter nilai tegangan TTL ke dalam nilai RS-232.
5. Komputer sebagai pengendali utama dari sistem maupun sebagai penampil data.



Gambar 3.1 Blok diagram sistem pengendali

3.2 Diagram Alir Proses Perancangan

Proses perancangan alat pengendali temperatur diperlihatkan dengan diagram alir pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram alir perancangan alat

3.3 Bagian Mekanik

3.3.1 Perancangan Mekanik

Sebelum mekanik sistem pengendali temperatur dibuat, terlebih dahulu dibuat desain perancangan mekaniknya menggunakan *Software Inventor*. Gambar 3.3 menunjukkan desain mekanik sistem pengendali temperatur.



Gambar 3.3 Desain mekanik sistem pengendali temperatur

3.3.2 Pembuatan Mekanik

Setelah proses pendesainan menggunakan *Software Inventor* selesai dilakukan, selanjutnya adalah proses pembuatan mekaniknya. Proses ini meliputi pembuatan rangka menggunakan bahan dari aluminium dan bak penampung air menggunakan kaca dengan ketebalan 5 mm, setelah itu menentukan dudukan untuk komponen-komponen yang lain seperti pompa wiper, pompa aquarium, dan heater. Untuk penghubung ke masing-masing bak, pompa wiper menggunakan pipa dari aluminium sedangkan pompa aquarium menggunakan pipa dari plastik.

Ukuran mekanik (panjang x lebar x tinggi) :

Rangka aluminium : 1000 mm x 400 mm x 1140 mm

Bak 1 dan bak 2 : 250 mm x 200 mm x 35 mm

Bak 3 : 200 mm x 150 mm x 650 mm

Bak 4 : 400 mm x 350 mm x 400 mm



Gambar 3.4 Rangka aluminium



Gambar 3.5 Bak 1 dan bak 2



Gambar 3.6 Bak 3

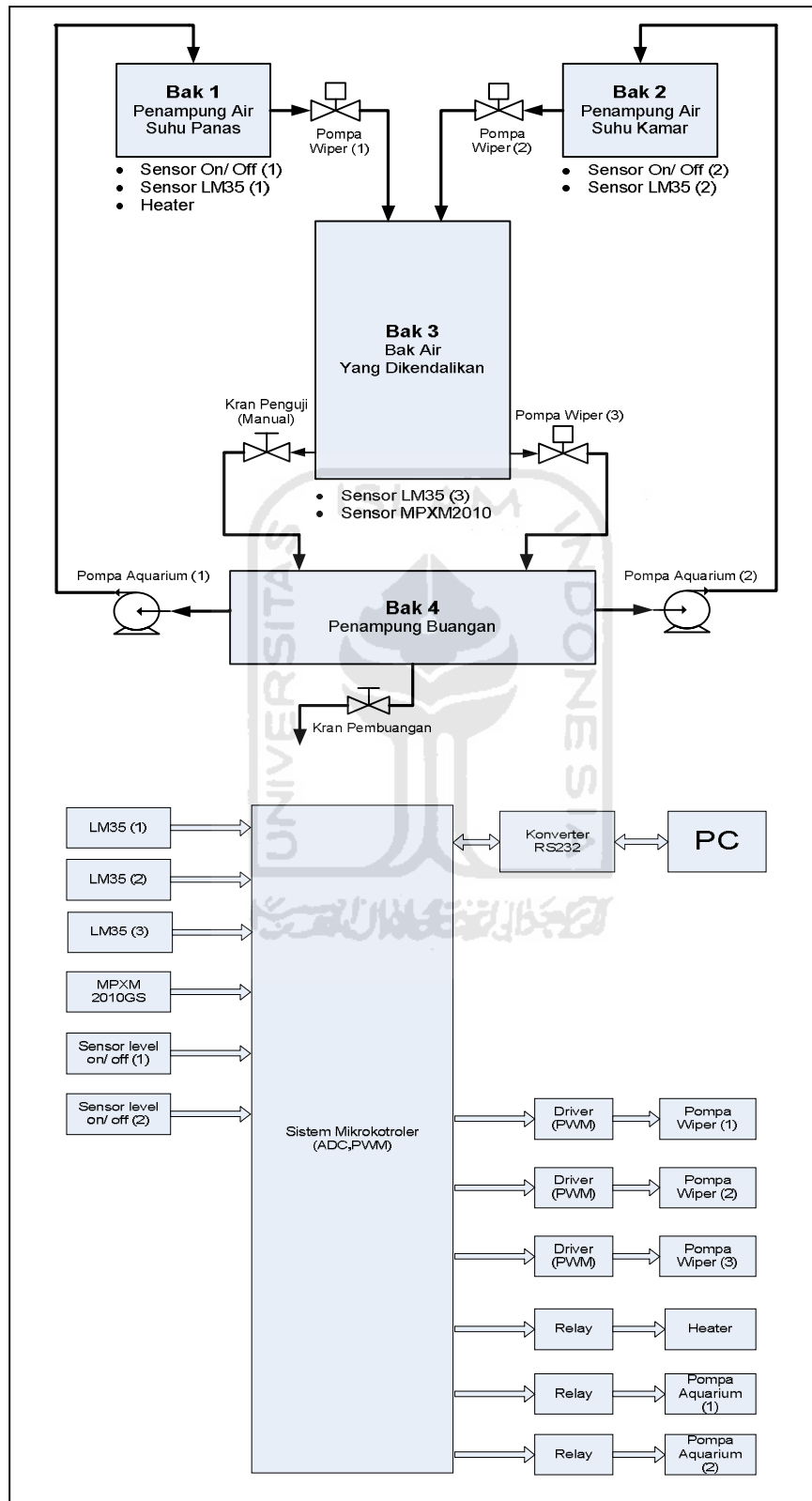


Gambar 3.7 Bak 4



Gambar 3.8 Pembuatan mekanik sistem pengendali temperatur

3.3.3 Mekanisme Kerja Sistem



Gambar 3.9 Mekanisme kerja sistem pengendali

Perancangan sistem pengendali temperatur pada modul pencampur air panas dan air dingin ini memiliki mekanisme kerja pencampuran air panas dan air dingin sesuai dengan temperatur dan level yang diinginkan. Dimana pada bak 1 (penampung air suhu panas) terdapat *heater* yang berfungsi untuk memanaskan air, sensor suhu LM 35 untuk mengetahui temperatur air tersebut, dan sensor batas volume air (*on-off*). Jadi temperatur air pada bak 1 ini digunakan sebagai acuan temperatur maksimal air yang akan dikendalikan.

Pada bak 2 (penampung air suhu kamar) terdapat sensor suhu LM 35 yang berfungsi untuk mengetahui temperatur air tersebut dan sensor batas volume air (*on-off*). Temperatur air pada bak 2 ini digunakan sebagai acuan temperatur minimal air yang akan dikendalikan.

Selanjutnya pada bak 3, yaitu bak untuk penampung air yang keadaan temperatur dan levelnya sudah ditentukan atau dikendalikan dari PC. Di dalam bak 3 atau bak uji ini terdapat sensor tekanan MPXM 2010 GS yang berfungsi sebagai pengendali level air dan sensor suhu LM 35 yang berfungsi untuk mengetahui temperatur air. Sedangkan bak 4 yaitu bak yang berfungsi sebagai penampung buangan air.

Prinsip kerja alat ini yaitu air dari bak 1 dan bak 2 akan dialirkan menggunakan pompa wiper sesuai dengan perintah dari PC menuju bak 3. Selanjutnya di dalam bak 3 ini akan dilakukan pengaturan temperatur maupun levelnya sesuai dengan yang diinginkan di mana sudah terdapat sensor untuk mengetahui keadaan tersebut. Setelah itu, air sisa dari bak 3 di alirkan menuju bak 4. Air pada bak 4 ini dialirkan kembali menuju bak 1 dan bak 2 menggunakan pompa aquarium untuk dapat dipergunakan berikutnya.

Temperatur minimal air yang dikendalikan berikutnya harus menyesuaikan dengan temperatur air terakhir yang ada pada bak 2 dimana air pada bak tersebut sudah terkontaminasi air dari bak 1 yang mempunyai temperatur lebih tinggi.

3.4 Bagian Elektronik

3.4.1 Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega 16

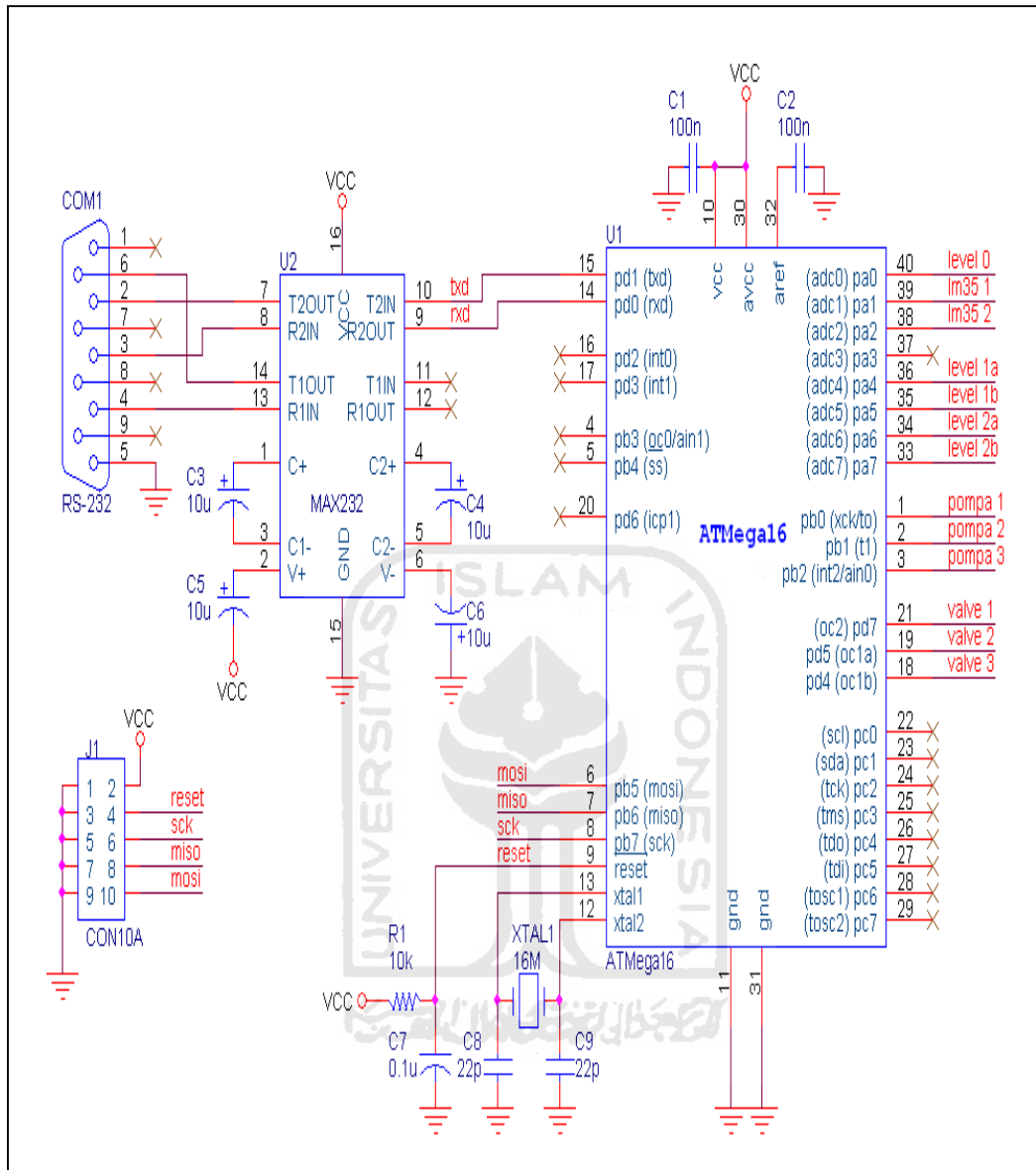
Pada sistem minimum ATmega 16 ini ditampilkan port-port yang digunakan sebagai masukan dan keluaran. Sistem minimum ini digunakan sebagai rangkaian utama dari perancangan sistem elektronik ini, yang berfungsi untuk mengatur aktifasi heater pada bak 1 sesuai masukan dari sensor LM 35, mengatur aktifasi pompa wiper dengan memberikan sinyal *PWM (Pulse Width Modulation)*, dan mengatur aktifasi pompa aquarium sesuai volume air pada bak 1 maupun pada bak 2.

Mikrokontroler ini terdiri dari 4 buah port I/O (portA- portD). Dimana masing-masing *port* terdiri dari 8 bit. Pada rangkaian ini, pin A1-A3 digunakan sebagai masukan dari sensor LM 35 untuk mengetahui temperatur air pada masing-masing bak setelah melewati penguat operasional op-amp LM 358.

Pada pin D4, D5 dan D7 digunakan untuk memberikan keluaran sinyal dengan nilai *PWM (Pulse Width Modulation)* yang terhubung ke TIP 120 untuk mengatur aktifasi pompa wiper yang disesuaikan dengan temperatur yang telah ditentukan.

Untuk pin A4-A7 digunakan sebagai masukan dari driver sinyal *on - off* pada bak 1 dan bak 2. Pada pin B0 dan pin B1 digunakan sebagai keluaran sinyal *on - off* yang melewati relai untuk mengaktifkan pompa aquarium, sedangkan pin B2 untuk mengaktifkan *heater*.

Pin D0 dan Pin D1 digunakan untuk komunikasi secara serial antara mikrokontroler dengan komputer, pin D0 sebagai RxD (penerima data) dan pin D1 sebagai TxD (pengirim data). Gambar dari sistem minimum mikrokontroler ATmega 16 dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Skematik rangkaian minimum mikrokontroler ATmega 16

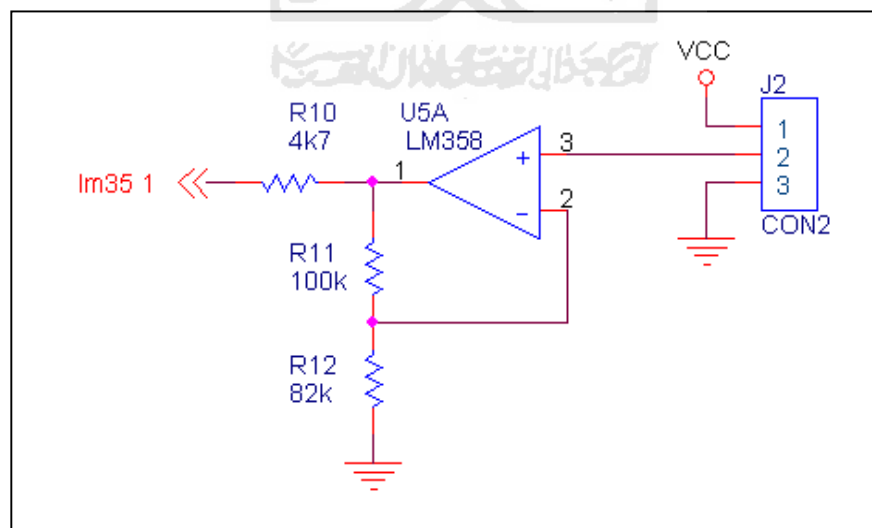
3.4.2 Pengkondisi Isyarat Op-Amp LM 358

Dalam perancangan alat pengendali temperatur ini, op-amp berfungsi sebagai penguat sinyal yang dihasilkan oleh sensor LM 35. Sinyal yang dikeluarkan oleh sensor yaitu berupa tegangan, namun tegangan yang dikeluarkan oleh sensor masih sangat kecil yaitu dalam orde milivolt, oleh karena itu dibutuhkan op-amp untuk menguatkan tegangan yang dikeluarkan oleh sensor sebelum masuk ke port ADC dalam mikrokontroler.

Tabel 3.1 Hubungan antara suhu dengan tegangan keluaran dari sensor LM 35

Suhu (°C)	V out (mV)
1	10
10	100
20	200
30	300
40	400
50	500
60	600
70	700
80	800
90	900
100	1000

Input untuk pengkondisi isyarat adalah keluaran dari sensor LM 35 kemudian masuk ke dalam penguat non-inverting IC Op-Amp LM 358. Besaran penguatan didapat dengan merubah nilai resistansi yang diperlukan pada saat kalibrasi *output* sensor untuk diumpankan ke *input* ADC pada mikrokontroler yang mempunyai tegangan referensi 2,56 volt.



Gambar 3.11 Skematik rangkaian pengkondisi isyarat Op-Amp LM 358

Dari rangkaian di atas dapat diketahui besarnya penguatan, adapun proses perhitungan penguatannya adalah sebagai berikut:

$$R_f = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R = 82 \text{ k}\Omega$$

Rumus Op-Amp *Non-Inverting*:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) V_{in}$$

Jadi nilai penguatannya adalah:

$$\begin{aligned} V_{out} \text{ teoritis} &= \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) V_{in} \\ &= \left(1 + \frac{100}{82}\right) V_{in} \\ &= (1 + 1,2) V_{in} \\ &= 2,2 V_{in} \end{aligned}$$

Tabel 3.2 Hubungan antara suhu dengan tegangan keluaran dari IC Op-Amp LM 358

Suhu (°C)	V out LM 35 (mV)	V out IC LM 358 setelah mengalami 2,2x penguatan (mV)
1	10	22
10	100	220
20	200	440
30	300	660
40	400	880
50	500	1100
60	600	1320
70	700	1540
80	800	1760
90	900	1980
100	1000	2200

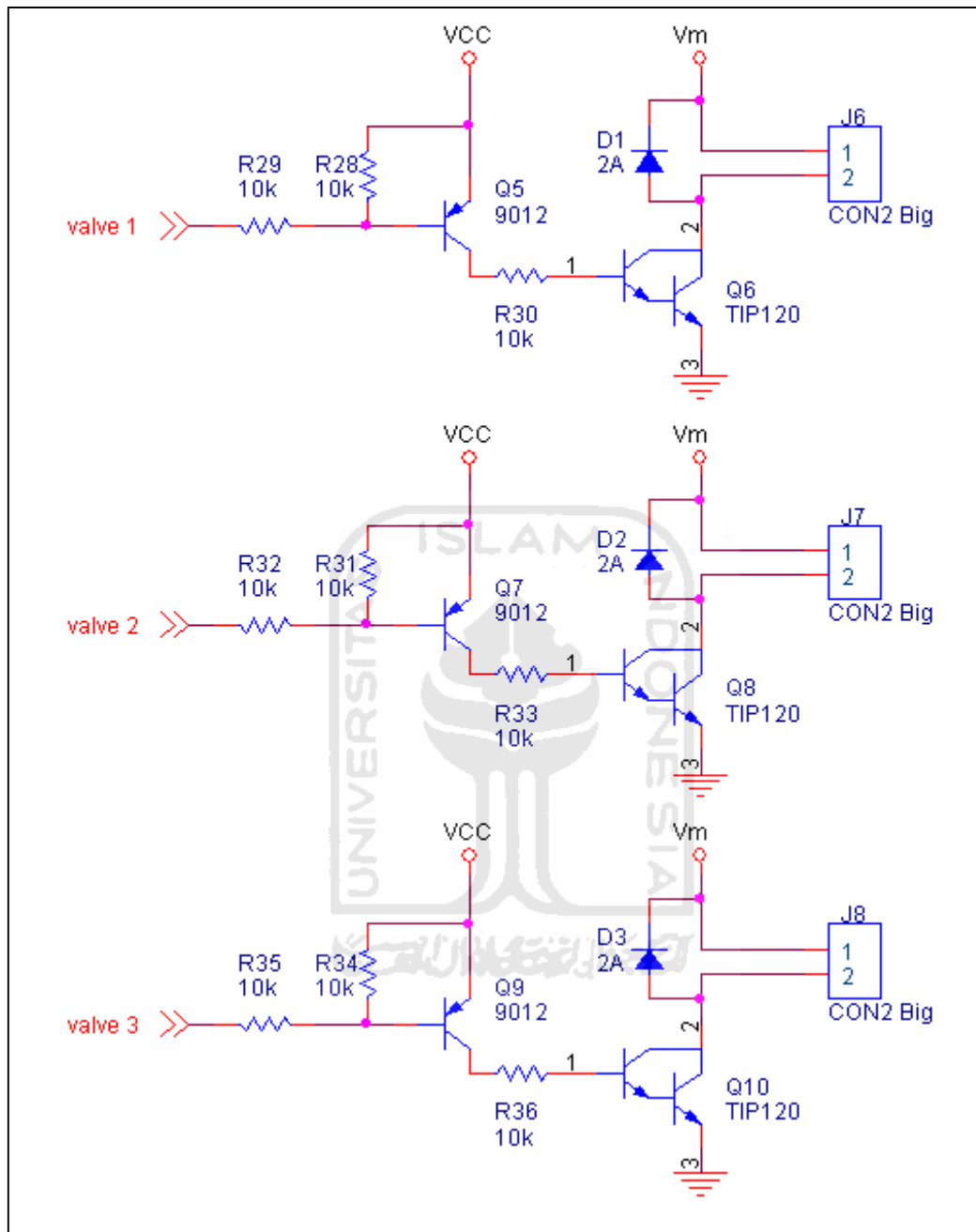
3.4.3 ADC (*Analog to Digital Converter*)

Pengkonversi analog ke digital (*Analog to Digital Converter*) digunakan untuk menerjemahkan atau mengubah besaran analog yang terbaca oleh pengkondisi isyarat dari sensor suhu menjadi sinyal digital sehingga dapat diproses oleh mikrokontroler. Dalam perancangan ini memakai ADC internal yang terdapat di port A di dalam mikrokontroler tersebut yang mempunyai tegangan referensi analog 0 sampai 2,56 volt. ADC internal tersebut mempunyai kemampuan konversi dengan pengaturan *output* 10 bit yang berupa data digital. Dengan pengaturan konversi *output* 10 bit ini maka mempunyai 2^{10} atau 1024 keadaan *output*.

3.4.4 Driver Pompa Wiper (TIP 120)

Fungsi TIP 120 pada perancangan ini adalah sebagai driver pompa wiper, yaitu sebagai saklar yang mengatur aktifasi motor pada frekuensi tertentu (frekuensi PWM). Karena beban pada motor adalah beban induktif maka tegangan V+ yang diterapkan pada motor diputus-hubung oleh TIP 120 menjadi tegangan DC rata-rata sesuai dengan nilai *dutycycle* (% PWM) yang diterapkan pada TIP 120.

Sistem kendali pada alat ini menggunakan sistem kendali *on-off*, maka nilai *dutycycle* (% PWM) adalah 0 % dan 100 %. Jadi motor hanya terdapat 2 keadaan yaitu *off* dan *on*.

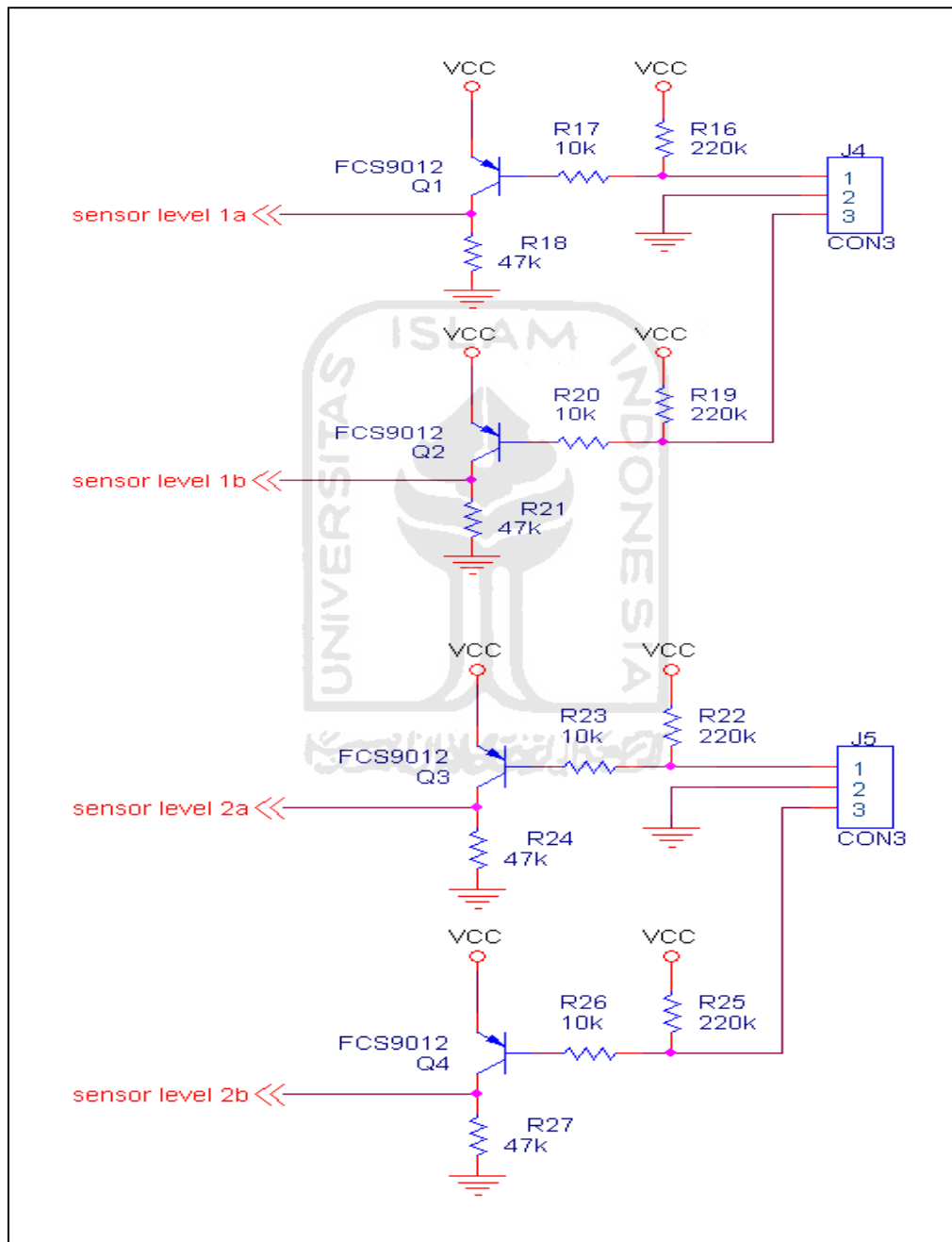


Gambar 3.12 Skematik rangkaian driver motor (TIP 120)

3.4.5 Pengkondisi Isyarat Sensor Level *On-Off*

Sensor level *on-off* ini terdapat pada bak 1 dan bak 2. Dimana obyek air digunakan sebagai media konduktornya. Keluaran dari sensor ini akan mengatur aktifasi pompa aquarium yang akan mengisi air ke dalam bak 1 dan bak 2 sehingga volume air pada masing-masing bak tersebut dapat terjaga. Sistem ini

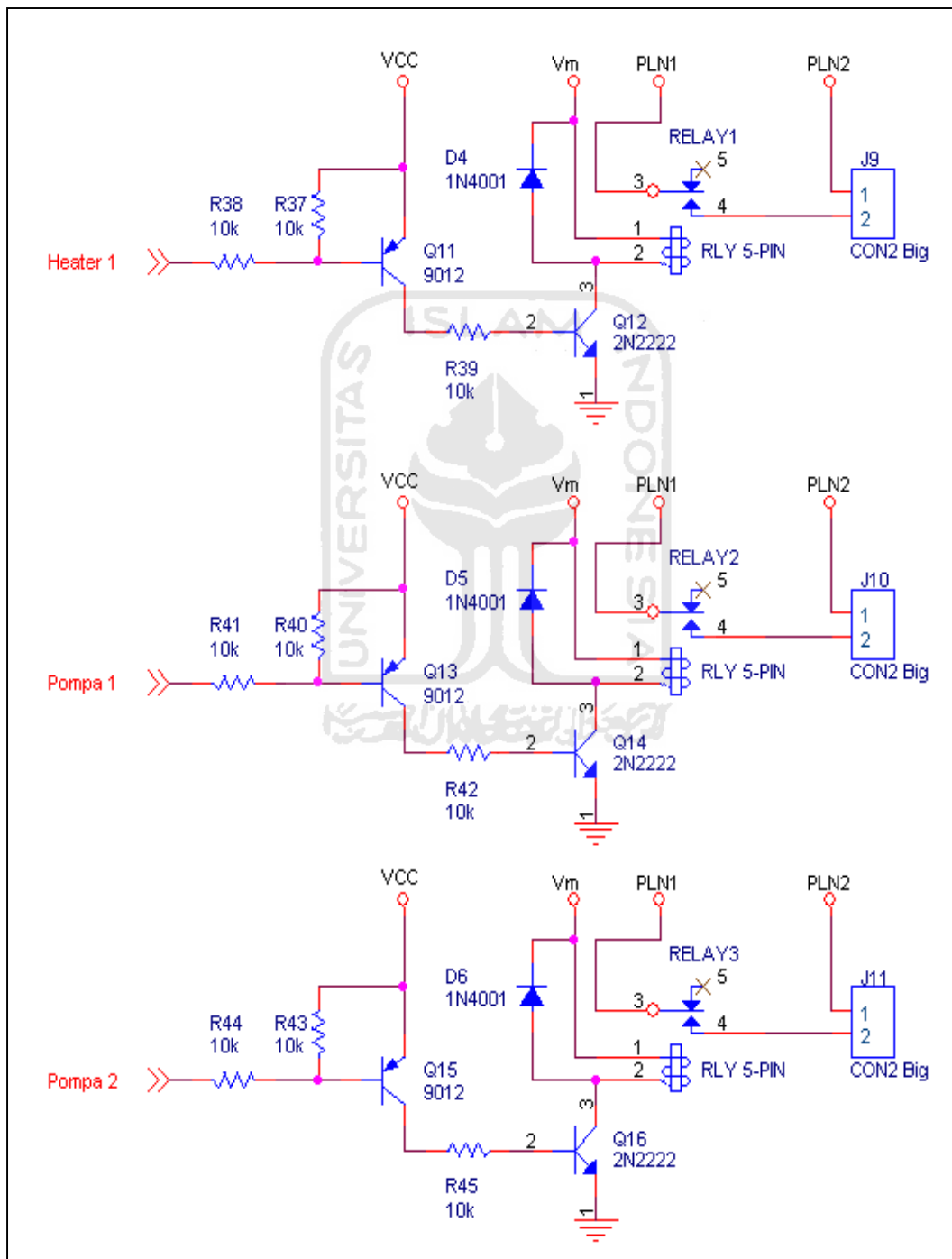
bekerja dengan memanfaatkan beda hambatan ketika terhubung dengan ground. Jadi dalam masing-masing bak terdapat 3 pin dimana 2 pin sebagai 2 batas keadaan air terhubung dengan komponen yang akan masuk ke dalam mikrokontroler dan salah satu pin terhubung langsung dengan ground.



Gambar 3.13 Skematik rangkaian pengkondisi isyarat level *on-off*

3.4.6 Driver Sinyal *On-Off* Pompa Aquarium dan *Heater*

Pada rangkaian driver ini menggunakan relai yang diaktifkan oleh arus DC 12 volt dan mampu menghantarkan arus AC 220 volt untuk mengaktifkan pompa aquarium maupun *heater*.



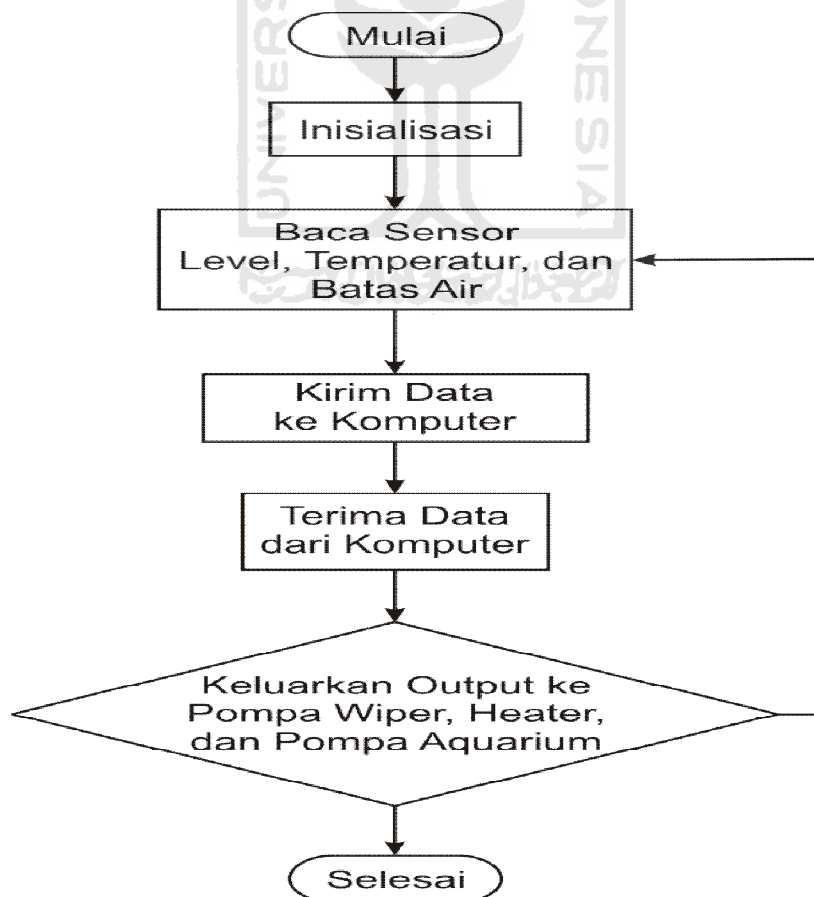
Gambar 3.14 Skematik rangkaian driver sinyal *on-off*

3.5 Perangkat Lunak

Setelah perancangan mekanik dan elektronik selesai dengan baik, perancangan perangkat lunak pun harus dilakukan dengan baik pula. Perancangan di sini dimaksudkan untuk mengendalikan perangkat keras agar hasilnya sesuai dengan prinsip kerja yang diinginkan. Perancangan perangkat lunak ini sendiri dibagi menjadi dua bagian, yaitu perangkat lunak pada mikrokontroler yang berfungsi sebagai driver utama yang menerima data dari komputer sekaligus sebagai pengirim data ke komputer serta mengatur driver pompa quarium dan perangkat lunak pada komputer yang berfungsi sebagai pengendali utama driver pemanas dan driver pompa wiper dengan bantuan *software* Delphi 7.

3.5.1 Perangkat Lunak Pada Mikrokontroler

Gambar berikut ini merupakan *flowchart* program utama untuk mikrokontroler sebagai driver utama.



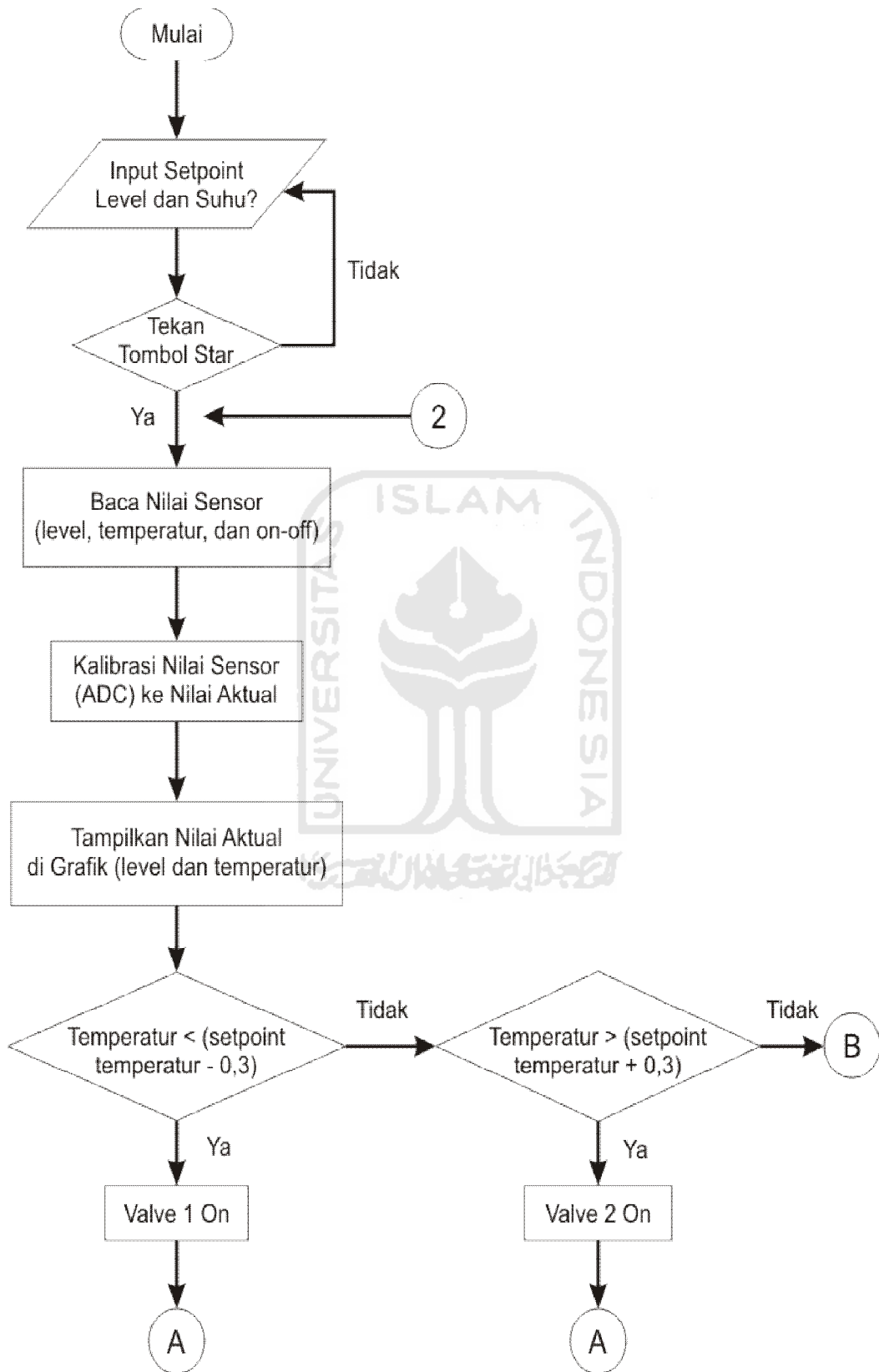
Gambar 3.15 Flowchart program utama pada mikrikontroler

Flowchart pada gambar 3.15 dimulai dari langkah inisialisasi sampai dengan program berakhir. Program dimulai dengan inisialisasi komunikasi data, arah data dan ADC. Kemudian mikrokontroler membaca data masukan dari sensor LM 35 dan sensor level yang akan dikonversikan dari sinyal analog menjadi sinyal digital oleh ADC untuk mendapatkan nilai temperatur dan level yang terbaca dari sensor tersebut. Setelah nilai temperatur dan level didapat, nilai temperatur dan level dikirimkan pada komputer dalam bentuk data karakter ASCII 10 bit. Setelah itu komputer akan mengkalkulasi nilai temperatur dan level yang dikirim oleh mikrokontroler dan akan mengirim kembali data ke mikrokontroler dalam bentuk data yang sama yang berisikan nilai *output* yang akan diberikan pada pemanas, pompa wiper serta pompa aquarium.

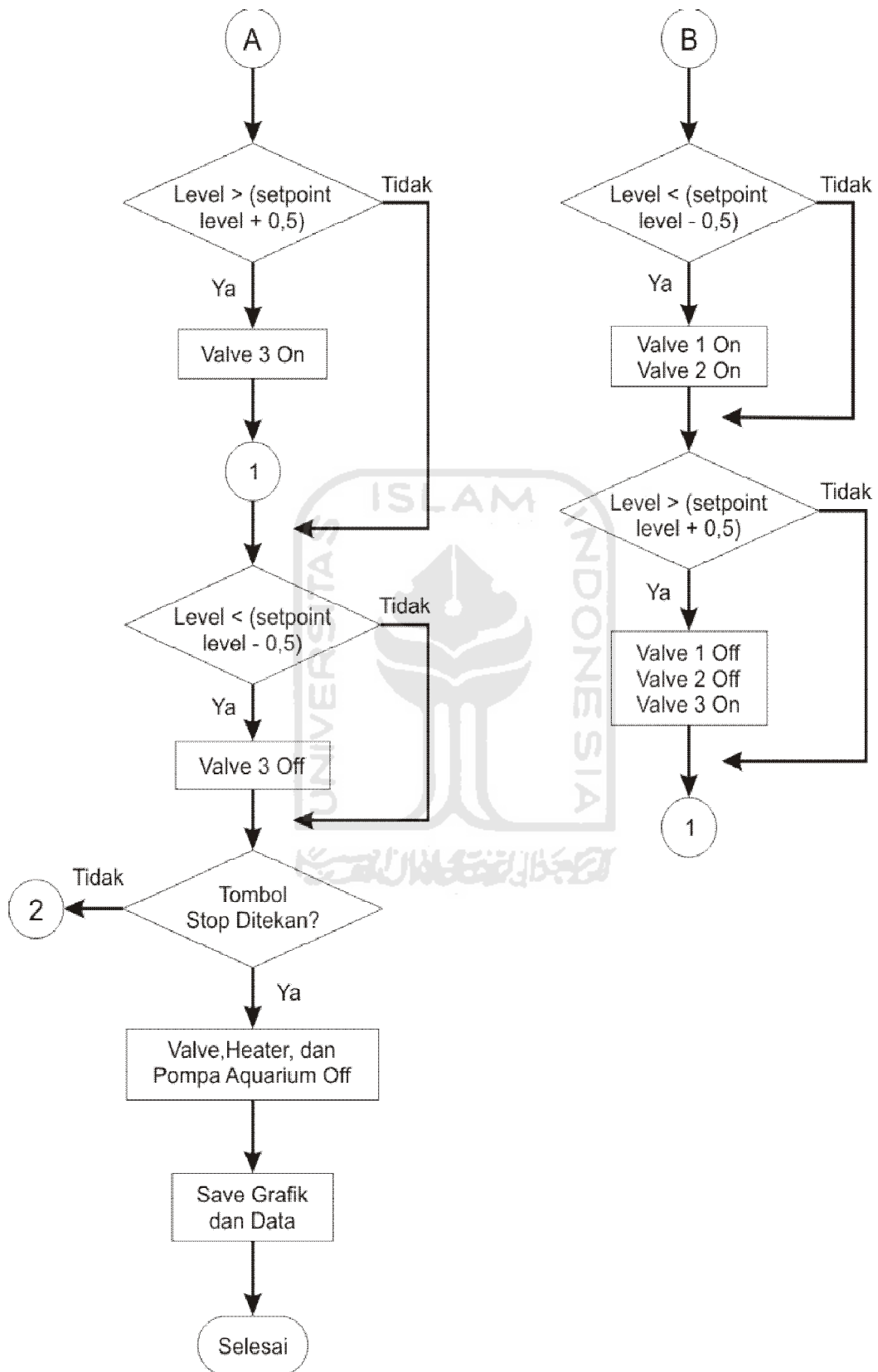
Selanjutnya mikrokontroler akan memberikan perintah khusus pada pemanas dan pompa wiper tersebut untuk bekerja sesuai dengan nilai hasil kalkulasi pada program komputer. Program berjalan secara terus menerus dari awal hingga akhir secara berurutan dan begitu seterusnya.

3.5.2 Perangkat Lunak Pada Komputer

Perangkat lunak pada komputer dibuat dengan menggunakan *software* Delphi 7. Perangkat lunak yang dibuat ini berfungsi sebagai pengendali utama dari driver pemanas dan driver pompa wiper. *Setpoint* temperatur, *setpoint* level, dan aktifasi pemanas secara otomatis dapat dikendalikan melalui tampilan program komputer ini. Selain itu, dengan program ini data beserta grafik dari hasil pengendalian dapat ditampilkan dan di *save* di komputer



Gambar 3.16 Flowchart program utama pada komputer



Gambar 3.17 Flowchart program utama pada komputer

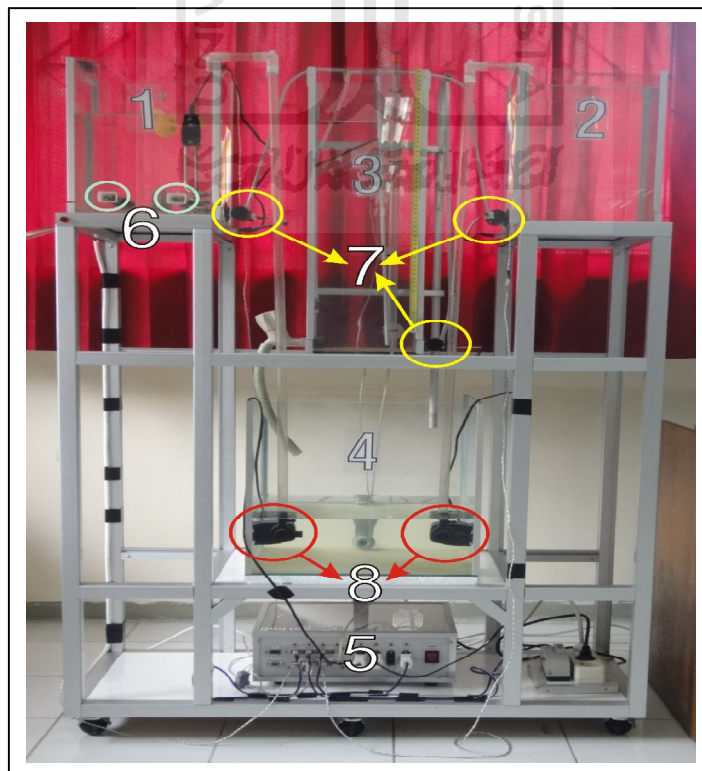
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui apakah sistem hasil perancangan berfungsi dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi perencanaan maka perlu dilakukan pengujian dengan memberikan perubahan pada masukan dan mengamati keluaran dalam blok rangkian yang diuji tersebut. Data hasil pengujian yang diperoleh merupakan data acuan dalam mengambil kesimpulan. Selain itu, pada bab ini akan dijelaskan tentang bagaimana hasil perancangan mekanik dan perancangan sistem, serta hasil pengamatan dari sistem yang telah dibangun berdasarkan perancangan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

4.1 Hasil Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik ini bertujuan untuk pembuktian dan aplikasi secara nyata dan *riil*, sehingga dapat dipahami dengan mudah dan jelas.



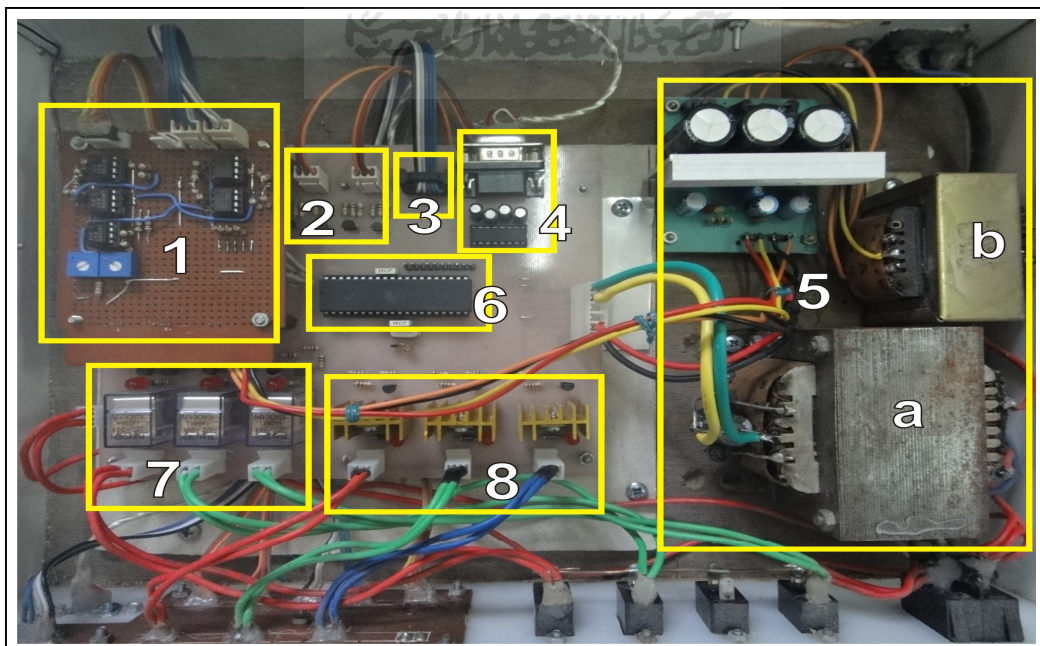
Gambar 4.1 Hasil perancangan mekanik

Keterangan dari gambar 4.1 adalah sebagai berikut:

1. Bak penampung air dengan temperatur panas
2. Bak penampung air dengan temperatur dingin (suhu dalam kamar)
3. Bak uji atau bak penampung kendali
4. Bak penampung buangan air kendali
5. Box rangkaian elektronika
6. Pemanas (*heater*)
7. Pompa wiper
8. Pompa aquarium

4.2 Hasil Perancangan Elektronik

Perancangan perangkat elektronik ini dimulai dari penyuplaian tegangan pada rangkaian mikrokontroler AVR ATmega 16, sensor LM 35, rangkaian Op-Amp, rangkaian driver pompa wiper, rangkaian sinyal *on-off* (batas volume air), dan rangkaian driver arus AC untuk pompa aquarium maupun *heater* . Proses perancangan elektronik ini diakhiri dengan mengatur koneksi mikrokontroler terhadap PC dengan menggunakan piranti I/O serial sehingga hasil pengendali level dan temperatur air dapat ditampilkan pada PC berupa grafik maupun data.



Gambar 4.2 Hasil perancangan elektronik

Keterangan dari gambar 4.2 adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian pengkondisi isyarat Op-Amp LM 358.

Pada rangkaian ini terdapat konektor *input* dari masing-masing sensor meliputi 1 buah sensor level air MPXM 2010 GS dan 3 buah sensor temperatur LM 35 serta IC Op-Amp itu sendiri.

2. Konektor *input* dari sensor level *on-off* (batas volume air).

3. Konektor SPI.

Yang berfungsi untuk pemrograman di dalam mikrokontroler AVR ATmega 16.

4. Konektor DB-9.

Berfungsi untuk komunikasi antara mikrokontroler dengan PC beserta IC MAX-232.

5. *Power supply*.

Untuk tegangan kerja atau catu daya pada mikrokontroler, sensor, driver maupun untuk aktuator yang berupa pompa wiper. Pada rangkaian ini menggunakan 2 buah travo sebesar 2 A dan 5 A. Khusus yang 5 A ini digunakan sebagai catu daya untuk pompa wiper.

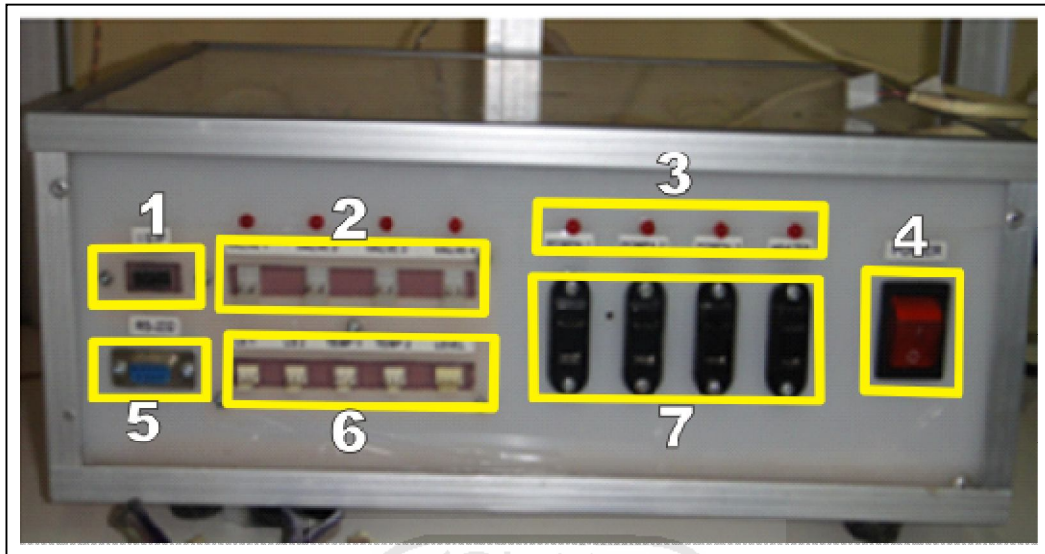
6. Mikrokontroler AVR ATmega 16.

7. Rangkaian driver sinyal *on-off*.

Pada rangkaian ini terdapat 3 buah relai yang masing-masing digunakan untuk 2 buah pompa aquarium dan 1 buah *heater*.

8. Rangkaian driver pompa wiper.

Rangkaian ini terdapat 3 buah transistor NPN tipe TIP 120 sebagai driver pompa wiper itu sendiri. Transistor TIP 120 tersebut dilapisi dengan *heatsing* yang berfungsi sebagai pendingin transistor tersebut.



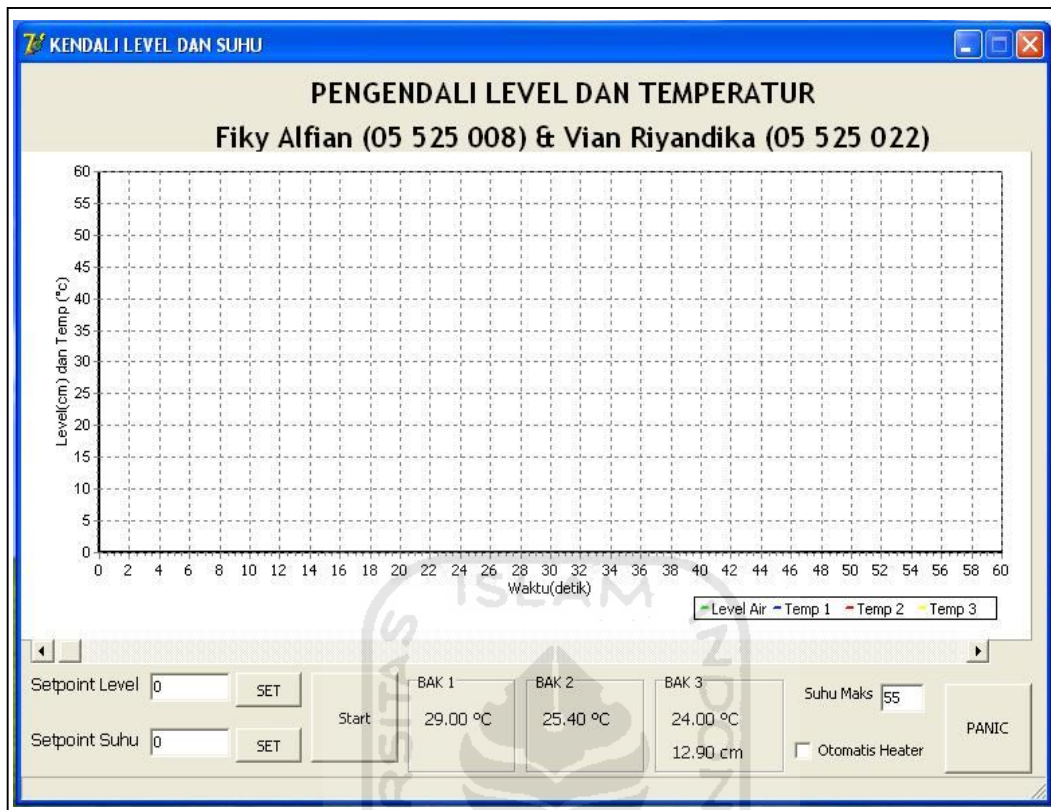
Gambar 4.3 Tampak depan box rangkaian elektronik

Keterangan dari gambar 4.3 adalah sebagai berikut:

1. Konektor SPI.
2. Konektor pompa wiper 2-pin.
3. Lampu indikator setiap bagian konektor
4. Tombol power.
5. Konektor DB-9 *female*, sebagai komunikasi dengan PC.
6. Konektor sensor suhu LM 35 3-pin, sensor batas volume air 3-pin, dan sensor level air MPXM 2010 GS 4-pin.
7. Konektor arus AC 220 volt untuk pompa aquarium dan *heater*.

4.3 Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Hasil perancangan perangkat lunak (pemrograman) yang telah dibuat terbagi menjadi dua jenis pemrograman, yaitu pemrograman pada mikrokontroler dan pemrograman pada komputer. Pemrograman pada mikrokontroler menggunakan *software* Code Vision AVR sedangkan pemrograman pada komputer menggunakan *software* Delphi 7. Tampilan hasil perancangan pemrograman komputer dapat dilihat pada



Gambar 4.4 Tampilan pemrograman komputer dengan *software* Delphi 7

Keterangan :

1. Menu setpoint level digunakan untuk menentukan level air yang diinginkan.
2. Menu setpoint suhu digunakan untuk menentukan suhu air yang diinginkan.
3. Menu tombol start digunakan untuk menjalankan program kendali.
4. Menu bak 1 menampilkan suhu air yang terdapat pada bak 1.
5. Menu bak 2 menampilkan suhu air yang terdapat pada bak 2.
6. Menu bak 3 menampilkan suhu dan level air yang terdapat pada bak 3.
7. Menu suhu maks dan otomatis *heater* digunakan untuk mengatur aktifitas *heater* secara otomatis yang berada pada bak 1 sesuai suhu maksimal yang diinginkan.
8. Menu tampilan tombol panic digunakan untuk menghentikan jalannya program apabila terjadi kesalahan (*trouble*).

4.4 Pengujian Rangkaian Sensor Suhu

4.4.1 Tujuan Pengujian

Pengujian rangkaian sensor suhu yang menggunakan LM 35 bertujuan untuk mengetahui ketepatan sensor dalam merespon perubahan temperatur sekitarnya yaitu dengan mengukur tegangan keluarannya. Jika tanggapan sensor temperatur baik maka setiap perubahan 1 °C keluaran sensor akan berubah kurang lebih sebesar 10 mV.

4.4.2 Peralatan Pengujian

- Pemanas (*heater*)
- Termometer
- Catu daya
- Multimeter digital

4.4.3 Prosedur Pengujian

- Menghubungkan catu daya ke rangkaian pengujian
- Memasukkan sensor suhu beserta termometer ke dalam bak yang berisi air yang telah dipanaskan
- Menaikkan suhu dengan cara mengatur aktifasi pemanas
- Mengukur tegangan keluaran sensor menggunakan multimeter digital
- Pengukuran suhu dimulai dari suhu 30 °C – 70 °C dengan kenaikan setiap 5 °C
- Memasukkan hasil pengujian ke dalam tabel

4.4.4 Hasil Pengujian

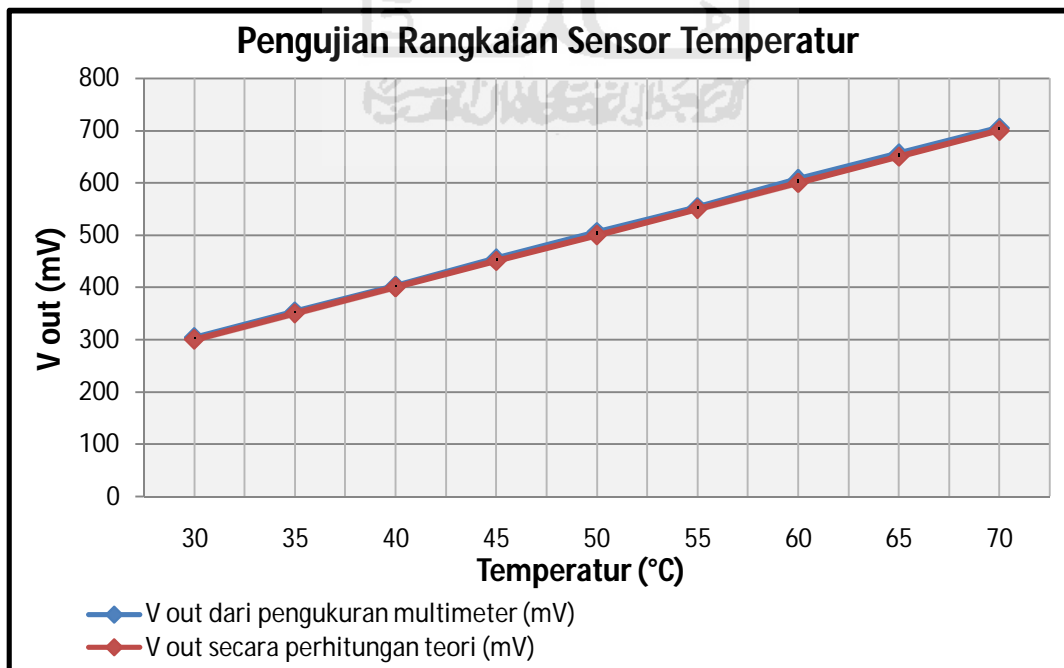
Hasil pengujian rangkaian sensor suhu ditunjukkan ke dalam tabel 4.1. Dari data tersebut diperlihatkan hubungan nilai temperatur, tegangan keluaran berdasarkan pengukuran menggunakan multimeter, tegangan keluaran berdasarkan perhitungan teori, dan besar penyimpangan data pengukuran multimeter dengan perhitungan teori.

Tabel 4.1 Pengujian rangkaian sensor temperatur

Suhu (°C)	V out dari pengukuran multimeter (mV)	V out secara perhitungan teori (mV)	Penyimpangan (%)
30	304	300	1.33
35	354	350	1.14
40	403	400	0.75
45	455	450	1.11
50	506	500	1.20
55	554	550	0.73
60	607	600	1.17
65	656	650	0.92
70	705	700	0.71

4.4.5 Analisis Hasil Pengujian

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa tegangan keluaran sensor temperatur terhadap perubahan temperatur adalah linear dan sesuai dengan spesifikasi sensor temperatur tersebut.



Gambar 4.5 Grafik pengujian rangkaian sensor temperatur

Prosentase kesalahan dari hasil pengujian terhadap nilai yang diinginkan dalam perancangan bisa dihitung dengan,

Prosentase penyimpangan =

$$\frac{(V \text{ out perhitungan} - V \text{ out pengukuran})}{V \text{ out perhitungan}} \times 100\%$$

Dari perhitungan penyimpangan antara data pengukuran multimeter dengan perhitungan teori dapat diketahui nilai rata-rata penyimpangannya sebesar:

$$\begin{aligned} \text{rata - rata} &= \frac{\text{Jumlah nilai penyimpangan}}{\text{Banyaknya ukuran penyimpangan}} \\ &= \frac{1,33 + 1,14 + 0,75 + 1,11 + 1,2 + 0,73 + 1,17 + 0,92 + 0,71}{9} \\ &= \frac{9,07}{9} \\ &= 1,01 \% \end{aligned}$$

Adanya penyimpangan tersebut dikarenakan:

- Pemasangan nilai resistansi yang kurang tepat
- Pembacaan yang tidak tepat pada termometer karena akurasi atau ketelitian skala hanya 1 °C
- Tidak presisinya multimeter sehingga menyebabkan kesalahan dalam pembacaan

4.5 Pengujian Rangkaian Penguat

4.5.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian rangkaian penguat adalah untuk membandingkan tegangan keluaran hasil pengamatan dengan hasil perhitungan berdasarkan perubahan tegangan masukan yang direncanakan.

4.5.2 Peralatan Pengujian

- Catu daya
- Multimeter digital

4.5.3 Prosedur Pengujian

- Menghubungkan catu daya ke rangkaian pengujian
- Menghubungkan antara rangkaian sensor temperatur dengan rangkaian pengkondisi isyarat op-amp LM 358
- Mengukur tegangan keluaran dari pengkondisi isyarat op-amp LM 358 menggunakan multimeter digital
- Menghitung level ADC dengan dengan cara mengkalibrasi pengaturan *output* sebesar 10 bit terhadap tegangan referensi port ADC sebesar 0 sampai 2,56 volt
- Memasukkan hasil pengujian ke dalam tabel

4.5.4 Hasil Pengujian Rangkaian

Hasil pengujian rangkaian penguat dimasukkan ke dalam tabel 4.2. Dari data tersebut diperlihatkan hubungan tegangan masukan dan tegangan keluaran berdasarkan pengukuran pada op-amp LM 358, besarnya nilai penguatan pada op-amp LM 358 serta level ADC dengan pengaturan *output* sebesar 10 bit.

Tabel 4.2 Pengujian rangkaian penguat

Suhu (°C)	V sensor (mV)	Output penguat non inverting (mV)	Penguatan	Level ADC (10 bit)
30	304	756	2.49	302
35	354	866	2.45	346
40	403	983	2.44	393
45	455	1101	2.42	440
50	506	1224	2.42	489
55	554	1339	2.42	535
60	607	1461	2.41	584
65	656	1592	2.43	636
70	705	1702	2.41	680

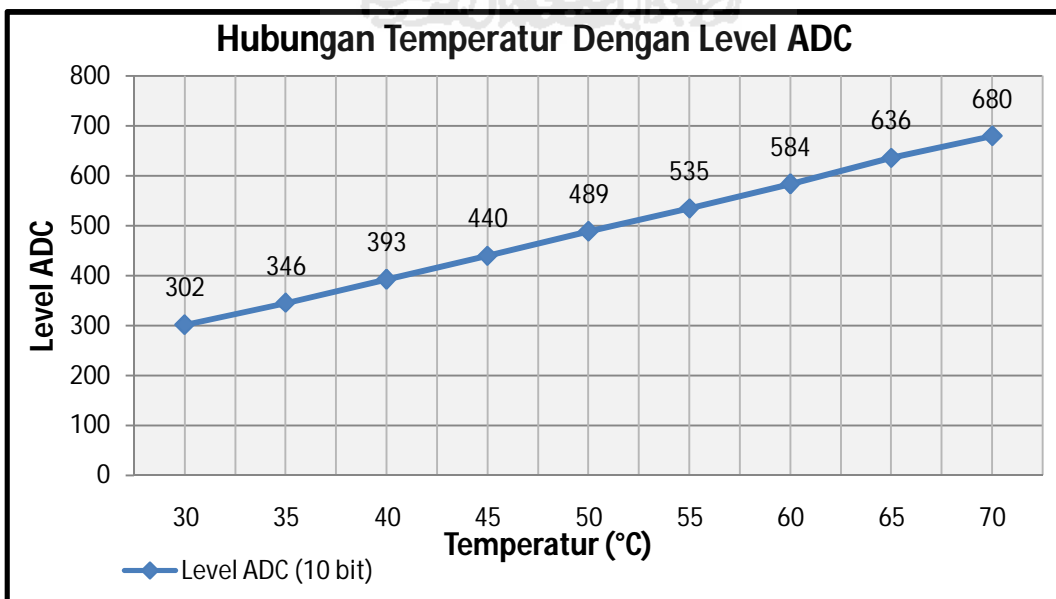
4.5.5 Analisis Hasil Pengujian

Penguat yang akan diuji adalah penguat tak membalik (*non-inverting*). Dalam hasil pengujian dapat dilihat bahwa rangkaian penguat tersebut mampu mengeluarkan tegangan masukkan dari sensor temperatur menjadi tegangan keluaran sesuai yang direncanakan sebelum masuk ke port ADC pada mikrokontroler yang menggunakan tegangan referensi pada port ADC itu sendiri yaitu sebesar 0 sampai 2,56 volt.

Dari perhitungan nilai penguatan yang diperoleh, dapat diketahui nilai rata-rata penguatannya, yaitu sebesar:

$$\begin{aligned} \text{rata - rata} &= \frac{\text{Jumlah nilai penguatan}}{\text{Banyaknya ukuran penguatan}} \\ &= \frac{2,49 + 2,45 + 2,44 + 2,42 + 2,42 + 2,42 + 2,41 + 2,43 + 2,41}{9} \\ &= \frac{21,87}{9} \\ &= 2,43 \end{aligned}$$

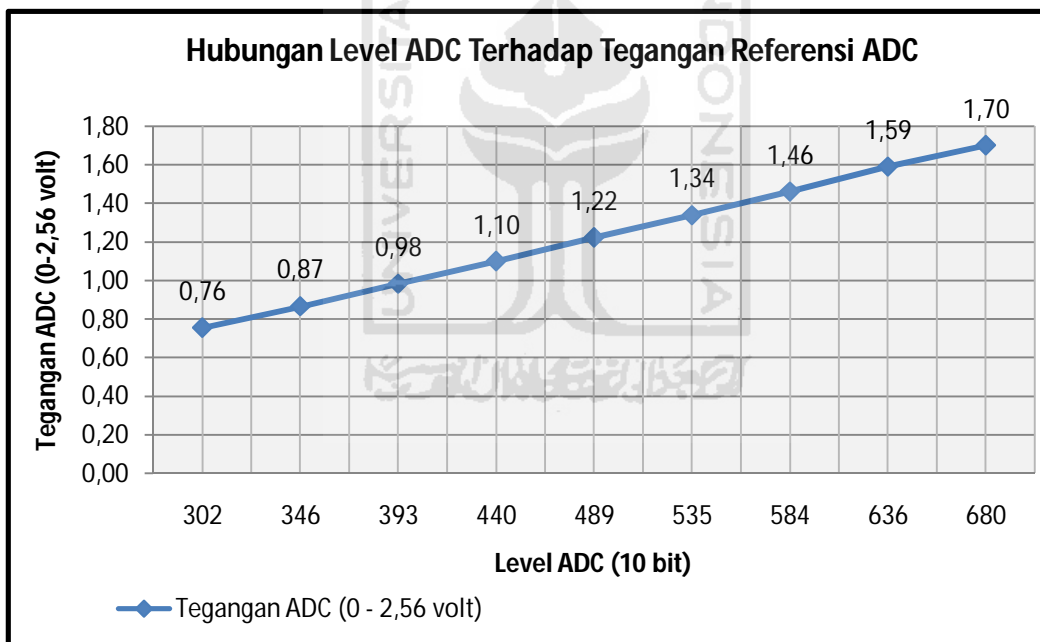
Dari gambar 4.6 dapat dilihat hubungan antara pembacaan suhu termometer dengan level ADC terlihat linier sesuai dengan yang direncanakan.



Gambar 4.6 Grafik hubungan temperatur dengan level ADC

Tabel 4.3 Hubungan antara level ADC terhadap tegangan referensi ADC

Suhu (°C)	Level ADC (10 bit)	Tegangan ADC (0 - 2,56 volt)
30	302	0.76
35	346	0.87
40	393	0.98
45	440	1.10
50	489	1.22
55	535	1.34
60	584	1.46
65	636	1.59
70	680	1.70

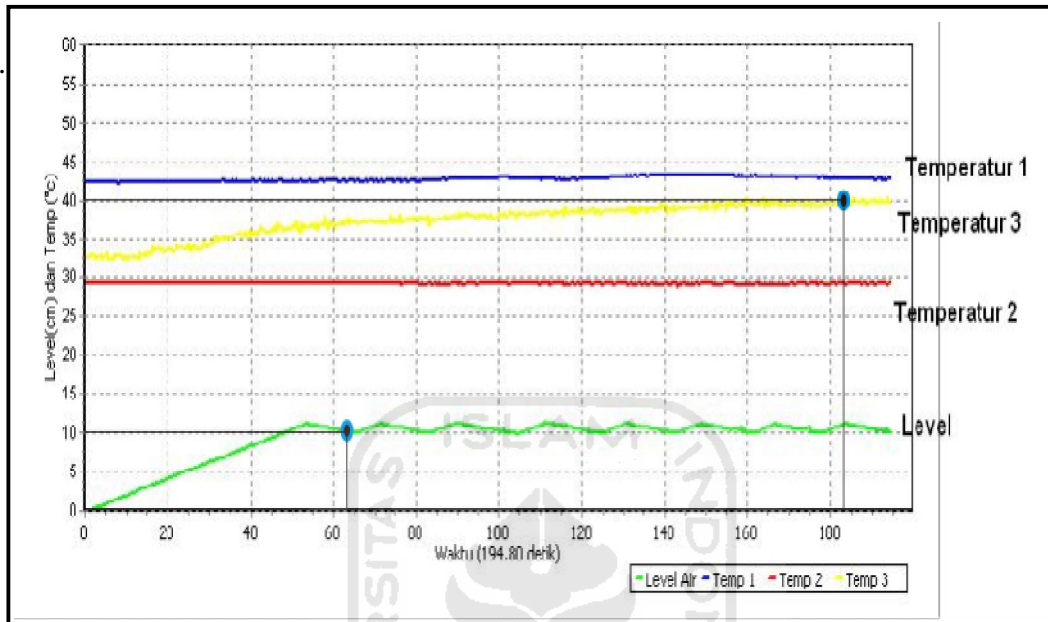


Gambar 4.7 Grafik hubungan antara level ADC terhadap tegangan referensi ADC

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa hubungan antara level ADC dengan pengaturan *output* sebesar 10 bit terhadap tegangan referensi ADC yaitu sebesar 2.56 volt pada port A dalam mikrokontroler terbukti linier.

4.6 Hasil Pengujian Pengendalian Temperatur

4.6.1 Pengujian *Setpoint* Temperatur 40 °C Tanpa Gangguan



Gambar 4.8 Grafik pengujian temperatur dengan *setpoint* 40 °C tanpa gangguan

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa temperatur air sebelumnya sebesar 32,5 °C (temperatur 3) dan level air sebesar 0 cm. Sistem tersebut bekerja dengan kendali *setpoint* temperatur 40 °C dengan level 10 cm.

Untuk kendali temperatur air menunjukkan *steady state* berada pada waktu 183,5 detik, sedangkan untuk kendali level air menunjukkan *steady state* berada pada waktu 64,75 detik. Sistem kendali tersebut berhenti bekerja pada waktu 194,80 detik. Hal ini dikarenakan adanya penyesuaian antara temperatur air dan level air agar sesuai serta mendekati *setpoint* yang ditentukan.

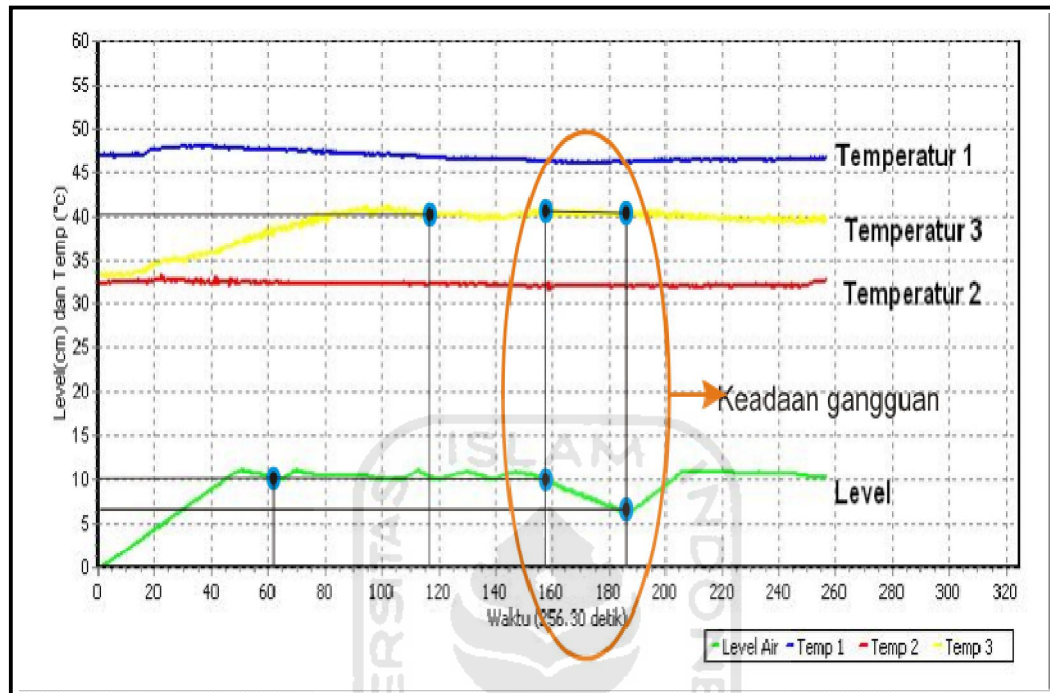
Tabel 4.4 Data hasil pengujian temperatur dengan *setpoint* 40 °C tanpa gangguan

Waktu (detik)	Level (cm)	Temperatur bak 1 (°C)	Temperatur bak 2 (°C)	Temperatur bak 3 (°C)
0	0.02	42.41	29.26	32.62
1	0.09	42.41	29.15	32.62
5	0.8	42.41	29.15	32.62
10	1.9	42.41	29.15	32.62
15	3	42.3	29.26	33.15
20	4.1	42.41	29.26	33.78
25	5.21	42.3	29.15	34.2
30	6.24	42.41	29.15	33.99
35	7.28	42.41	29.15	35.04
40	8.32	42.51	29.15	35.15
45	9.35	42.51	29.15	35.99
50	10.39	42.51	29.15	36.62
55	10.97	42.51	29.15	36.83
60	10.45	42.51	29.15	36.94
64	10.07	42.51	29.15	36.94
64.25	10.13	42.51	29.26	37.46
64.5	10.13	42.51	29.15	37.36
64.75	10	42.51	29.15	37.15
65	10	42.41	29.26	37.04
70	10.84	42.51	29.15	37.15
75	10.71	42.62	29.15	37.67
80	10.26	42.41	29.26	37.67
85	10.39	42.62	29.05	37.57
90	11.1	42.93	29.26	37.88
95	10.65	42.83	29.26	37.78
100	10.26	42.93	29.15	37.78
105	9.94	42.83	29.15	37.99
110	10.91	42.72	29.05	38.31
115	10.91	42.62	29.15	38.41
120	10.39	42.72	29.15	38.52
125	10	42.72	29.15	38.31
130	11.04	43.04	29.15	38.73
135	10.71	43.14	29.15	38.94
140	10.26	43.14	29.26	39.46
145	10.45	43.25	29.15	39.15

Waktu (detik)	Level (cm)	Temperatur bak 1 (°C)	Temperatur bak 2 (°C)	Temperatur bak 3 (°C)
150	10.97	43.25	29.26	38.83
155	10.52	43.14	29.15	39.67
160	10.13	43.04	29.05	40.41
165	10.71	43.14	28.94	39.78
170	10.65	43.04	29.15	39.36
175	10.58	42.93	29.15	39.04
180	10.33	42.83	29.05	39.78
182	10.78	42.83	29.15	39.67
182.3	10.84	42.83	29.15	39.67
182.5	10.84	42.83	29.15	39.57
182.8	10.97	42.83	29.15	39.88
183	10.97	42.83	29.15	39.67
183.3	11.04	42.72	29.15	39.67
183.5	11.1	42.83	29.15	39.99
183.8	11.04	42.72	29.05	39.67
184	11.04	42.83	29.15	39.67
185	10.91	42.72	29.15	39.57
190	10.45	42.83	29.15	39.99
190.3	10.39	42.83	29.15	39.88
190.5	10.39	42.83	29.15	39.88
190.8	10.39	42.62	29.05	39.78
191	10.39	42.72	29.15	39.78
191.3	10.33	42.72	29.15	40.09
191.5	10.26	42.72	29.15	39.67
191.8	10.39	42.72	29.15	39.78
192	10.26	42.72	29.15	40.09
192.3	10.26	42.72	29.15	39.99
192.5	10.33	42.72	29.15	39.78
192.8	10.33	42.62	29.15	39.88
193	10.39	42.72	29.15	39.99
193.3	10.26	42.83	29.15	39.78
193.5	10.39	42.62	29.15	39.88
193.8	10.39	42.72	29.05	39.67
194	10.26	42.72	29.15	40.3
194.3	10.07	42.72	29.15	40.2
194.5	10	42.72	29.15	39.78
194.8	10	42.72	29.15	39.99

4.6.2 Pengujian *Setpoint* Temperatur 40 °C Dengan Gangguan

4.6.2.1 Gangguan Pengurangan



Gambar 4.9 Grafik pengujian temperatur dengan *setpoint* 40 °C dengan gangguan pengurangan

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa temperatur air sebelumnya sebesar 33 °C (temperatur 3) dan level air sebesar 0 cm. Sistem tersebut bekerja dengan kendali *setpoint* temperatur 40 °C dengan level 10 cm.

Untuk kendali temperatur air menunjukkan *steady state* berada pada waktu 115 detik, sedangkan untuk kendali level air menunjukkan *steady state* berada pada waktu 62 detik. Pada detik ke 157,3 sistem pengendali mendapat gangguan pengurangan dari kran pembuang manual sampai detik ke 185.

Pada waktu mendapat gangguan pengurangan tersebut, keadaan level berubah dari level 10 cm menjadi 6,3 cm sedangkan keadaan temperatur hanya mengalami sedikit perubahan penurunan yaitu dari 40,4 °C menjadi 40,2 °C. Sistem kendali tersebut berhenti bekerja pada detik ke 256,3.

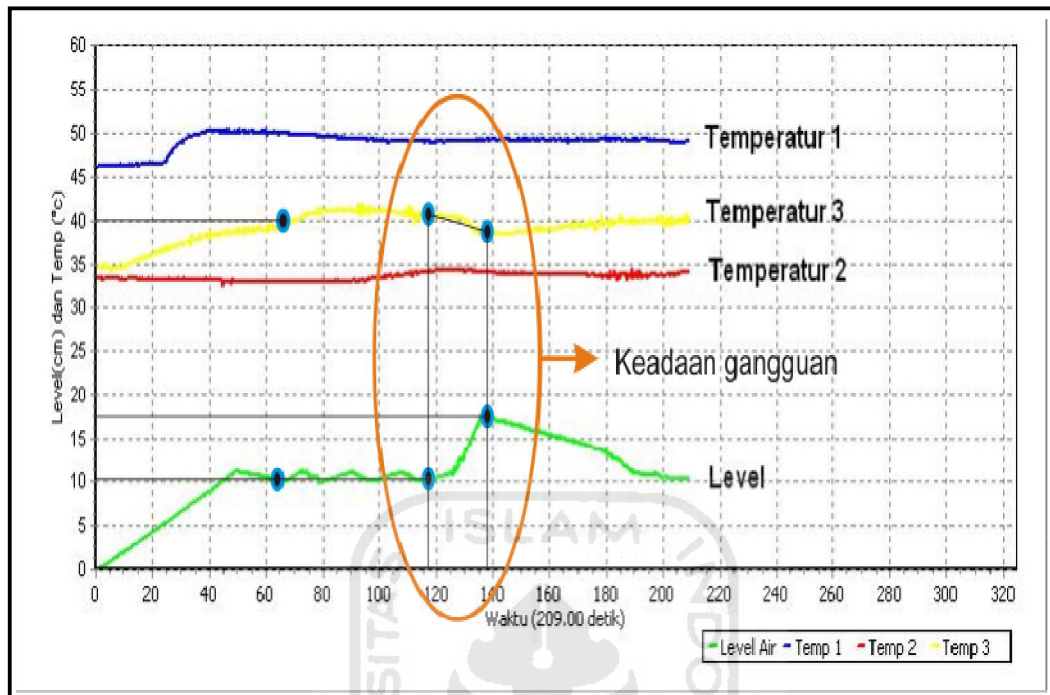
Tabel 4.5 Data hasil pengujian temperatur dengan *setpoint* 40 °C dengan gangguan pengurangan

Waktu (detik)	Level (cm)	Temperatur bak 1 (°C)	Temperatur bak 2 (°C)	Temperatur bak 3 (°C)
0	0.09	46.83	32.2	33.36
1	0.09	46.93	32.31	33.57
5	0.93	47.04	32.41	33.36
10	2.03	46.83	32.52	33.36
15	3.2	46.93	32.62	33.78
20	4.36	47.56	32.62	34.52
25	5.53	47.77	32.73	35.04
30	6.63	47.98	32.62	35.04
35	7.8	47.98	32.52	35.57
40	8.96	47.98	32.31	35.99
45	10.07	47.88	32.41	36.41
50	11.1	47.88	32.41	36.94
55	10.78	47.77	32.41	37.57
60	10.33	47.77	32.41	37.99
62	10.07	47.67	32.41	38.41
62.25	10.07	47.67	32.41	38.73
62.5	10.13	47.67	32.41	38.31
62.75	10	47.56	32.41	38.62
63	10.07	47.67	32.41	38.62
63.25	10	47.67	32.41	38.83
63.5	10	47.56	32.31	38.52
63.75	10	47.67	32.41	38.83
64	9.94	47.56	32.41	38.62
64.25	9.94	47.56	32.31	38.41
64.5	10	47.67	32.31	38.62
64.75	10	47.56	32.41	38.52
65	10.07	47.56	32.31	38.52
70	11.04	47.46	32.31	39.15
75	10.65	47.46	32.31	39.57
80	10.39	47.35	32.31	39.78
85	10.45	47.14	32.31	40.2
90	10.45	47.04	32.31	40.51
95	10.39	47.04	32.2	41.15

Waktu (detik)	Level (cm)	Temperatur bak 1 (°C)	Temperatur bak 2 (°C)	Temperatur bak 3 (°C)
100	10.07	46.93	32.2	40.62
110	10.58	46.93	32.31	40.41
115	10.58	46.72	32.2	40.09
115.3	10.58	46.72	32.2	40.09
115.5	10.52	46.72	32.1	40.73
115.8	10.52	46.72	32.2	39.99
116	10.45	46.83	32.2	40.2
120	10.07	46.72	32.2	40.09
125	10.45	46.62	32.2	40.2
130	10.91	46.62	32.1	40.2
135	10.39	46.51	32.2	39.88
140	10	46.51	32.1	40.09
145	10.65	46.41	32.1	39.88
150	10.71	46.41	32.1	39.99
155	10.2	46.2	32.1	40.41
157	10	46.3	32.1	40.62
157.3	10	46.3	31.99	40.41
157.5	9.87	46.3	32.1	40.51
157.8	9.87	46.3	31.99	40.41
158	9.81	46.2	32.1	40.3
158.3	9.81	46.3	31.99	40.62
158.5	9.81	46.3	32.1	40.51
158.8	9.81	46.3	32.52	40.51
159	9.74	46.3	31.68	40.73
159.3	9.68	46.41	31.89	40.41
159.5	9.68	46.3	32.1	40.51
159.8	9.55	46.3	32.1	40.2
160	9.55	46.3	32.1	40.41
165	8.84	46.2	31.99	40.3
170	8.32	46.2	32.1	40.3
175	7.73	46.2	31.99	40.41
180	7.09	46.09	31.99	40.41
184	6.37	46.2	31.99	40.2
184.3	6.37	46.09	31.99	40.3
184.5	6.5	46.2	31.99	40.3
184.8	6.37	46.09	31.99	40.09
185	6.31	46.2	31.99	40.2

Waktu (detik)	Level (cm)	Temperatur bak 1 (°C)	Temperatur bak 2 (°C)	Temperatur bak 3 (°C)
185.3	6.37	46.09	31.99	40.2
185.5	6.44	46.09	31.99	40.3
185.8	6.37	46.3	31.99	40.2
186	6.57	46.2	31.99	40.2
186.3	6.37	46.2	31.89	40.3
186.5	6.37	46.3	32.1	40.3
186.8	6.89	46.2	31.99	40.3
188	6.5	46.2	31.99	40.2
188.3	6.63	46.2	31.99	40.41
188.5	6.63	46.2	31.89	40.41
188.8	6.7	46.3	31.99	40.3
190	6.89	46.2	31.99	40.41
195	8.25	46.3	31.99	40.2
200	9.42	46.3	31.99	40.09
205	10.65	46.41	31.99	40.3
210	10.91	46.41	31.78	39.99
215	10.91	46.41	31.99	39.88
220	10.84	46.51	32.1	40.2
225	10.78	46.41	32.1	39.46
230	10.71	46.51	32.2	39.46
235	10.71	46.41	32.2	39.78
240	10.65	46.51	32.1	39.78
245	10.65	46.51	31.99	39.78
250	10.33	46.62	32.1	39.46
253.8	10.2	46.51	32.52	39.67
254	10.2	46.62	32.62	39.88
254.3	10.2	46.62	32.52	39.46
254.5	10.2	46.51	32.52	39.57
254.8	10.2	46.51	32.52	39.99
255	10.26	46.62	32.62	39.99
255.3	10.2	46.62	32.52	39.57
255.5	10.2	46.62	32.52	39.99
255.8	10.2	46.51	32.62	40.2
256	10.2	46.62	32.62	39.36
256.3	10.2	46.62	32.62	39.67

4.6.2.2 Gangguan Penambahan



Gambar 4.10 Grafik pengujian temperatur dengan *setpoint* 40 °C dengan gangguan penambahan

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa temperatur air sebelumnya sebesar 34,5 °C (temperatur 3) dan level air sebesar 0 cm. Sistem tersebut bekerja dengan kendali *setpoint* temperatur 40 °C dengan level 10 cm.

Untuk kendali temperatur air menunjukkan *steady state* berada pada waktu 65,5 detik, sedangkan untuk kendali level air menunjukkan *steady state* berada pada waktu 64,5 detik. Pada detik ke 115 sistem pengendali mendapat gangguan penambahan secara manual sampai detik ke 136.

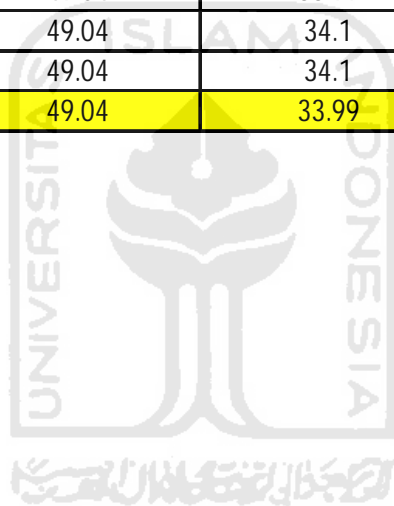
Pada waktu mendapat gangguan pengurangan tersebut, keadaan level berubah dari level 10 cm menjadi 17,65 cm sedangkan keadaan temperatur mengalami perubahan penurunan yaitu dari 40,62 °C menjadi 38,52 °C. Sistem kendali tersebut berhenti bekerja pada detik ke 208,3.

Tabel 4.6 Data hasil pengujian temperatur dengan *setpoint* 40 °C dengan gangguan penambahan

Waktu (detik)	Level (cm)	Temperatur bak 1 (°C)	Temperatur bak 2 (°C)	Temperatur bak 3 (°C)
0	0.02	46.09	33.36	34.52
1	0.15	46.2	33.36	34.62
5	0.86	46.2	33.36	34.52
10	2.03	46.3	33.36	34.62
15	3.13	46.3	33.36	35.57
20	4.3	46.62	33.26	36.1
25	5.47	47.14	33.26	37.04
30	6.63	49.04	33.36	37.46
35	7.73	49.98	33.36	37.99
35.25	7.8	49.77	33.26	37.67
40	8.9	50.3	33.26	38.2
45	10.07	50.4	32.94	38.52
50	11.04	50.4	33.05	38.41
55	10.78	50.09	33.05	39.15
60	10.39	50.09	33.05	38.94
64	10.13	50.09	33.05	39.15
64.25	10.2	50.09	33.05	39.36
64.5	10.07	49.77	33.05	39.46
64.75	10.07	49.88	33.05	39.78
65	10.07	50.09	33.05	39.46
65.25	10.07	50.09	33.05	39.46
65.5	10.07	49.88	33.05	39.88
65.75	10.07	49.98	33.05	39.67
66	10	50.09	33.05	39.57
66.25	10	49.98	33.05	39.67
66.5	10	49.98	33.05	39.88
66.75	9.94	50.09	33.05	39.88
67	10	49.88	33.05	39.67
68	10.2	49.88	33.05	39.67
69	10.39	49.77	33.05	39.67
70	10.65	49.77	33.05	40.09
75	10.65	49.67	33.05	40.51

Waktu (detik)	Level (cm)	Temperatur bak 1 (°C)	Temperatur bak 2 (°C)	Temperatur bak 3 (°C)
80	9.94	49.56	33.05	41.04
85	10.45	49.46	33.15	41.04
90	11.04	49.35	33.15	41.25
95	10.2	49.25	33.15	41.36
100	10.26	49.14	33.47	41.04
105	10.71	49.14	33.68	40.94
110	10.58	49.04	33.89	40.51
115	10	49.04	33.99	40.62
116	10.13	49.25	34.1	40.62
117	10.2	49.14	34.1	40.51
118	10.33	48.93	34.1	40.51
119	10.39	48.93	34.1	40.51
120	10.45	48.93	34.2	40.62
125	10.91	49.04	34.31	40.3
130	13.31	49.04	34.1	39.99
135	16.68	49.25	34.2	38.83
135.3	17	49.14	34.2	38.73
135.5	17.13	49.25	34.1	38.94
135.8	17.39	49.35	34.1	38.94
136	17.65	49.25	34.1	38.52
137	17.52	49.14	34.1	38.41
138	17.32	49.35	34.1	38.52
139	17.26	49.14	34.1	38.52
140	17.19	49.25	34.1	38.62
145	16.81	49.35	33.99	38.41
150	16.42	49.25	33.99	38.73
155	15.96	49.14	33.89	38.73
160	15.51	49.35	33.89	39.25
165	15.06	49.25	33.78	39.46
170	14.6	49.04	33.78	39.25
175	14.08	49.25	33.78	39.57
180	13.44	49.14	33.78	39.99
185	12.33	49.25	34.1	40.51
190	10.91	49.46	33.47	39.67
195	10.84	49.35	33.78	39.88
200	10.39	49.04	33.78	39.99

Waktu (detik)	Level (cm)	Temperatur bak 1 (°C)	Temperatur bak 2 (°C)	Temperatur bak 3 (°C)
205	10.33	49.04	33.99	39.99
205.3	10.33	48.93	33.78	39.78
205.5	10.33	49.04	33.89	40.09
205.8	10.33	49.04	33.99	40.3
206	10.33	48.93	33.99	39.78
206.3	10.33	48.93	33.99	39.99
206.5	10.33	49.04	33.99	39.88
206.8	10.33	48.93	34.1	40.09
207	10.33	48.93	33.99	40.41
207.3	10.33	48.93	34.1	40.41
207.5	10.26	49.04	33.99	40.62
207.8	10.33	49.04	34.1	39.67
208	10.26	49.04	34.1	40.62
208.3	10.33	49.04	33.99	40.2



4.7 Pembahasan

Pada bagian pembahasan akan dibandingkan tentang kinerja setiap perancangan kendali yang telah diuji.

1. Pada perancangan kendali dengan sistem *on-off*, efek *cycling* tidak dapat dihilangkan. Hal tersebut tampak jelas terlihat pada tampilan grafik pengujian pengendalian temperatur. Efek tersebut terjadi karena *output* dari pompa wiper hanya dapat mengeluarkan nilai *output* dengan dua keadaan yaitu *off* dan *on*, dengan nilai *dutycycle* (% PWM) adalah 0 % dan 100 %.
2. Tidak semua keadaan temperatur pada suhu di dalam kamar bernilai sama. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya asal sumber air dari pegunungan berbeda dengan yang berasal dari dataran rendah atau keadaan cuaca di setiap wilayah belum tentu sama yang mana bisa mempengaruhi nilai temperatur pada suhu di dalam kamar. Oleh karena, pada bak 2 ditambahkan sensor suhu LM 35 yang sebelumnya tidak ada sensor suhu tersebut. Hal itu terjadi karena keadaan temperatur pada suhu di dalam kamar mengacu nilai ± 27 °C. Pada dasarnya nilai tersebut belum tentu sama karena adanya faktor-faktor tersebut.
3. Sensor sinyal *on-off* untuk mengetahui batas volume air pada bak 1 mengalami perubahan, dimana pada perancangan awal menggunakan tiga buah logam yang terpasangan vertikal sejajar dengan media air itu sendiri sebagai konduktornya. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan beda tegangan ketika terhubung dengan ground. Adanya *heater* pada bak tersebut, sistem ini tidak bekerja dengan baik karena pada *heater* itu sendiri timbul tegangan yang keluar dari elemen penyusunnya. Jadi sinyal *on-off* untuk kendali batas volume air diganti menggunakan 2 buah pelampung sebagai batas bawah dan batas atas yang tergabung dengan *limit switch* selanjutnya sinyal tersebut diteruskan ke dalam mikrokontroler.

4. Temperatur minimal air yang dikendalikan, harus menyesuaikan dengan temperatur air terakhir yang ada pada bak 2 dimana air pada bak tersebut sudah terkontaminasi air dari bak 1 yang mempunyai temperatur lebih tinggi ketika berada di bak 4 yaitu bak penampung buangan. Selanjutnya air dari bak 4 tersebut dialirkan kembali menuju bak 2 menggunakan pompa aquarium.
5. Hasil pengujian dengan mendapatkan gangguan, perubahan keadaan lebih berpengaruh pada perubahan level air. Karena gangguan yang diberikan cenderung berupa pengurangan dan penambahan keadaan volume air bukan pengurangan dan penambahan keadaan temperatur air.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam melakukan perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem pengendali temperatur air untuk modul pencampur air panas dan air dingin, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan, antara lain:

1. Alat ini dapat digunakan sebagai model simulasi pengaturan kendali temperatur air dan level air dengan mengatur *setpoint* keadaan yang diinginkan.
2. Hasil dari pengendali temperatur air dan level air dapat ditampilkan di komputer berupa grafik dan nilai data.
3. Rangkaian sensor suhu yang digunakan untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran elektronik mempunyai prosentase kesalahan pendeteksian sebesar 1,01%.
4. Pengkondisi sinyal op-amp LM 358 mempunyai rata-rata nilai penguatan sebesar 2,43.
5. Berdasarkan hasil pengujian kendali temperatur, semakin tinggi nilai *setpoint* temperatur maka semakin lama interval waktu yang dibutuhkan untuk mencapainya.
6. Dari hasil pengujian dengan mendapatkan gangguan, perubahan nilai temperatur lebih terlihat pada gangguan penambahan, karena keadaan temperatur air yang ditambahkan berbeda dengan keadaan temperatur di bak 3.
7. Dari hasil pengujian dengan mendapatkan gangguan, perbandingan perubahan keadaan temperatur dengan keadaan level, lebih terlihat pada perubahan keadaan level.

5.2 Saran

Dalam perencanaan dan pembuatan alat ini terdapat beberapa hal yang bisa dikembangkan untuk kesempurnaan sistem pengendali temperatur pada modul pencampur air panas dan air dingin berikutnya. Saran-saran berikut antara lain:

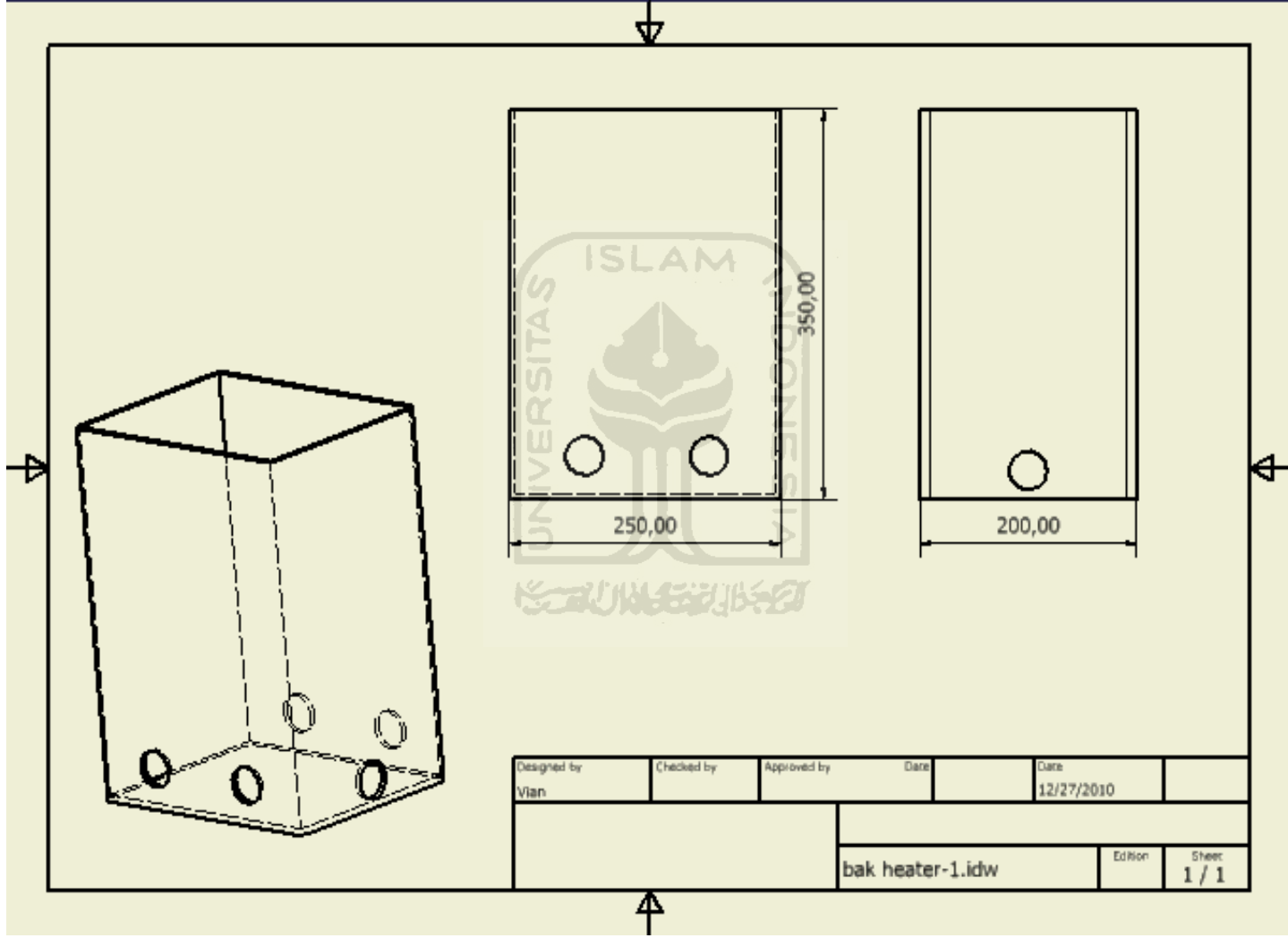
1. Adanya sistem pendingin pada bak 4 yaitu bak penampung buangan yang berfungsi untuk menetralsir temperatur air yang sudah terkontaminasi antara air dari bak 1 dengan air dari bak 2. Sehingga air yang masuk kembali ke dalam bak 2 mempunyai temperatur yang tetap terjaga dalam batas suhu air di dalam kamar.
2. Perancangan sistem pengendali temperatur pada modul pencampur air panas dan air dingin ini masih menggunakan sistem kendali *on-off*, untuk penelitian berikutnya agar lebih optimal, maka sistem kendali ini dikembangkan kembali menggunakan sistem kendali yang lain misalnya sistem kendali *fuzzy*.
3. Dalam merancang *hardware*, alat ukur, maupun perangkat yang lain harus teliti dan memilih kualitas yang bagus untuk memperkecil kesalahan yang ada.
4. Memilih elemen pemanas atau *heater* dengan daya yang lebih besar sehingga proses pemanasan air akan lebih cepat.
5. Penggunaan sensor suhu dengan kualitas yang lebih baik sehingga dapat melakukan batas pengukuran yang lebih besar.
6. Termometer dalam pengambilan data secara manual sebaiknya menggunakan termometer digital.
7. Bak air yang digunakan menggunakan bak yang tahan panas dan tidak pecah.
8. Gangguan pada pengujian sebaiknya menggunakan air es dan air mendidih, sehingga perubahan keadaan temperatur akan jauh lebih terlihat.

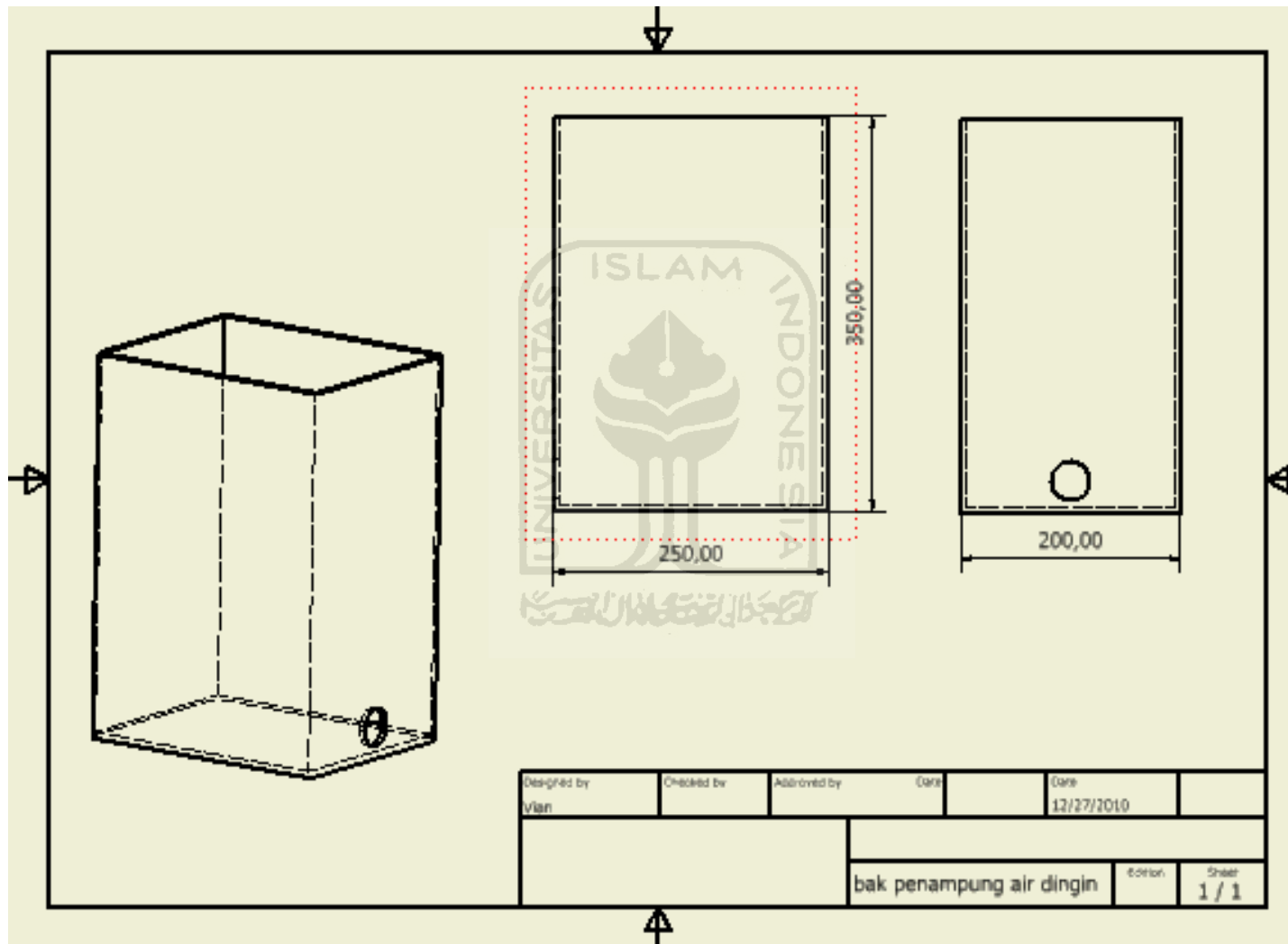
DAFTAR PUSTAKA

- Adi, Agung Nugroho. 2010. *Mekatronika*. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Ary Heryanto, M. dan Adi P., Wisnu. 2008. *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATmega 8535*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Andriato, Heri. 2008. *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega 16*. Penerbit Informatika, Bandung.
- Budiharto, Widodo. 2008. *Panduan Praktikum Mikrokontroler AVR ATmega 16*. Penerbit PT Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Malvino, A. P. 2003. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Salemba Teknika, Jakarta.
- Setiawan, Yudha. 2005. *Tip Delphi Praktis dan Singkat*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Sugiri, A. 2004. *Elektronika Dasar & Perihal Komputer*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Tim Laboratorium Pemrograman Komputer. 2008. *Petunjuk Praktikum Pemrograman Komputer*. Laboratorium Pemrograman Komputer Teknik Mesin FTI UII, Yogyakarta.
- Wardhana, Lingga. 2006. *Mikrokontroler AVR Seri ATmega 8535 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Winoto, Ardi. 2008. *Mikrokontroler AVR ATmega 8/ 32/ 16/ 8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C*. Penerbit Informatika, Bandung.

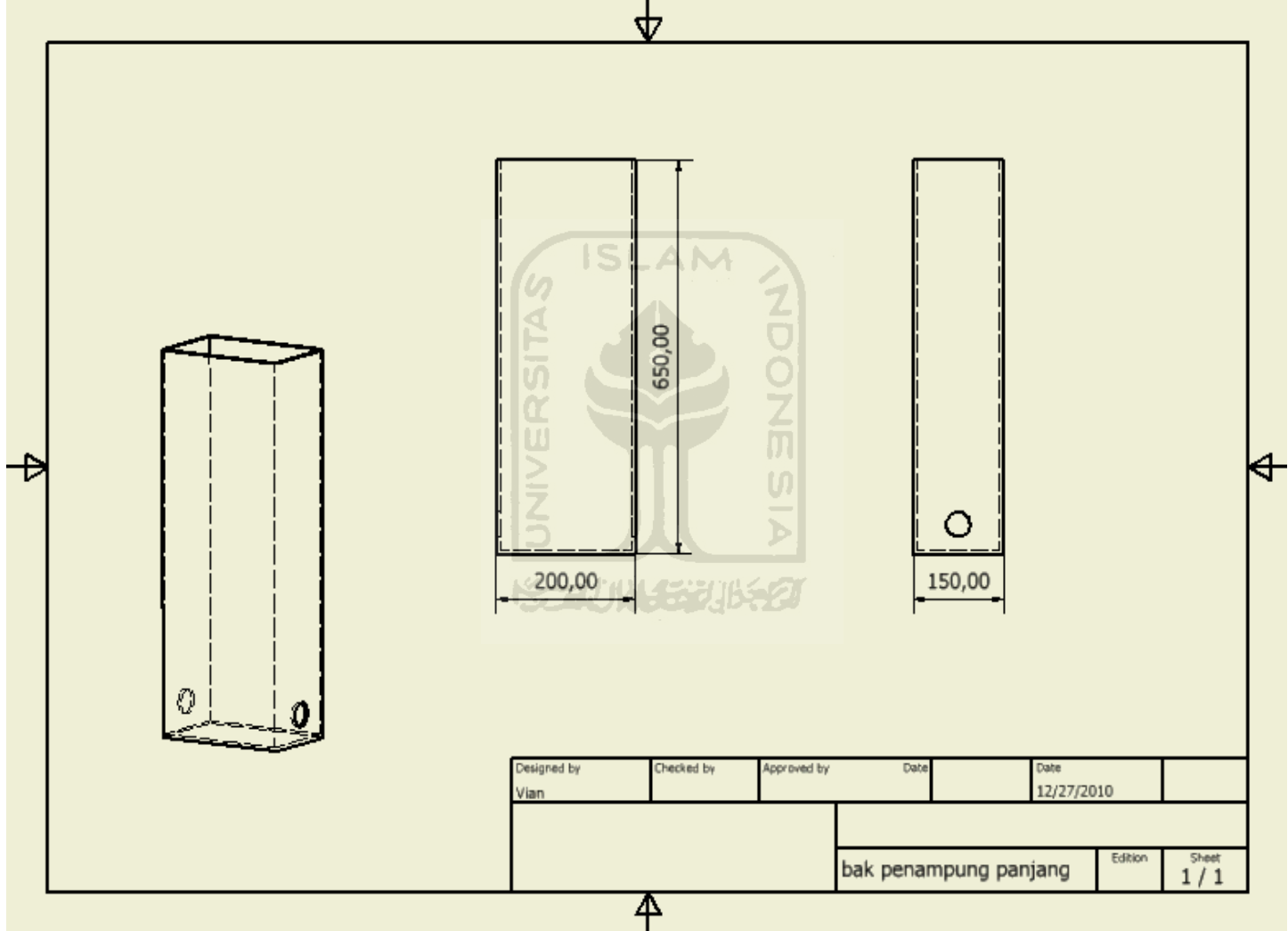
LAMPIRAN

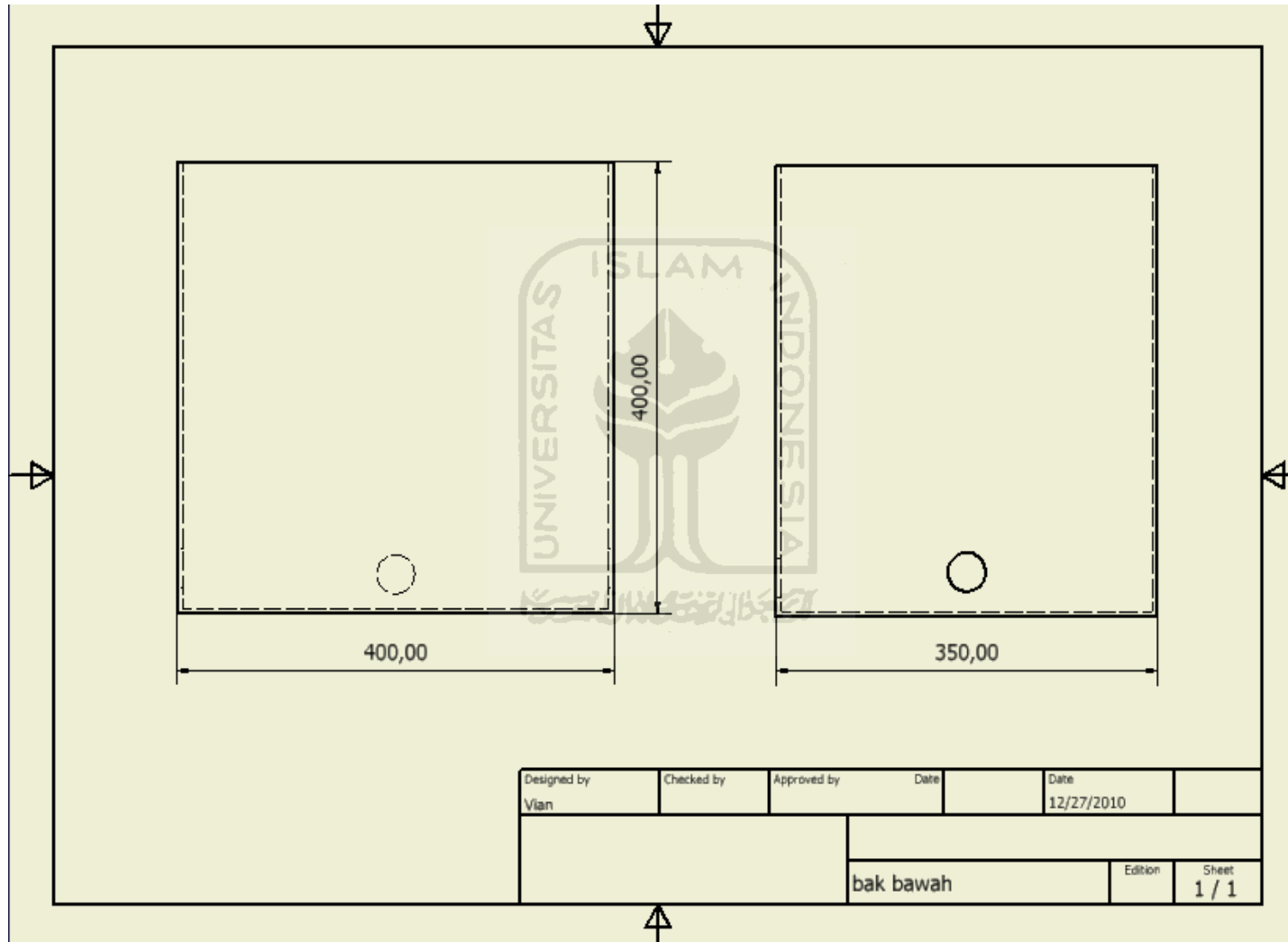




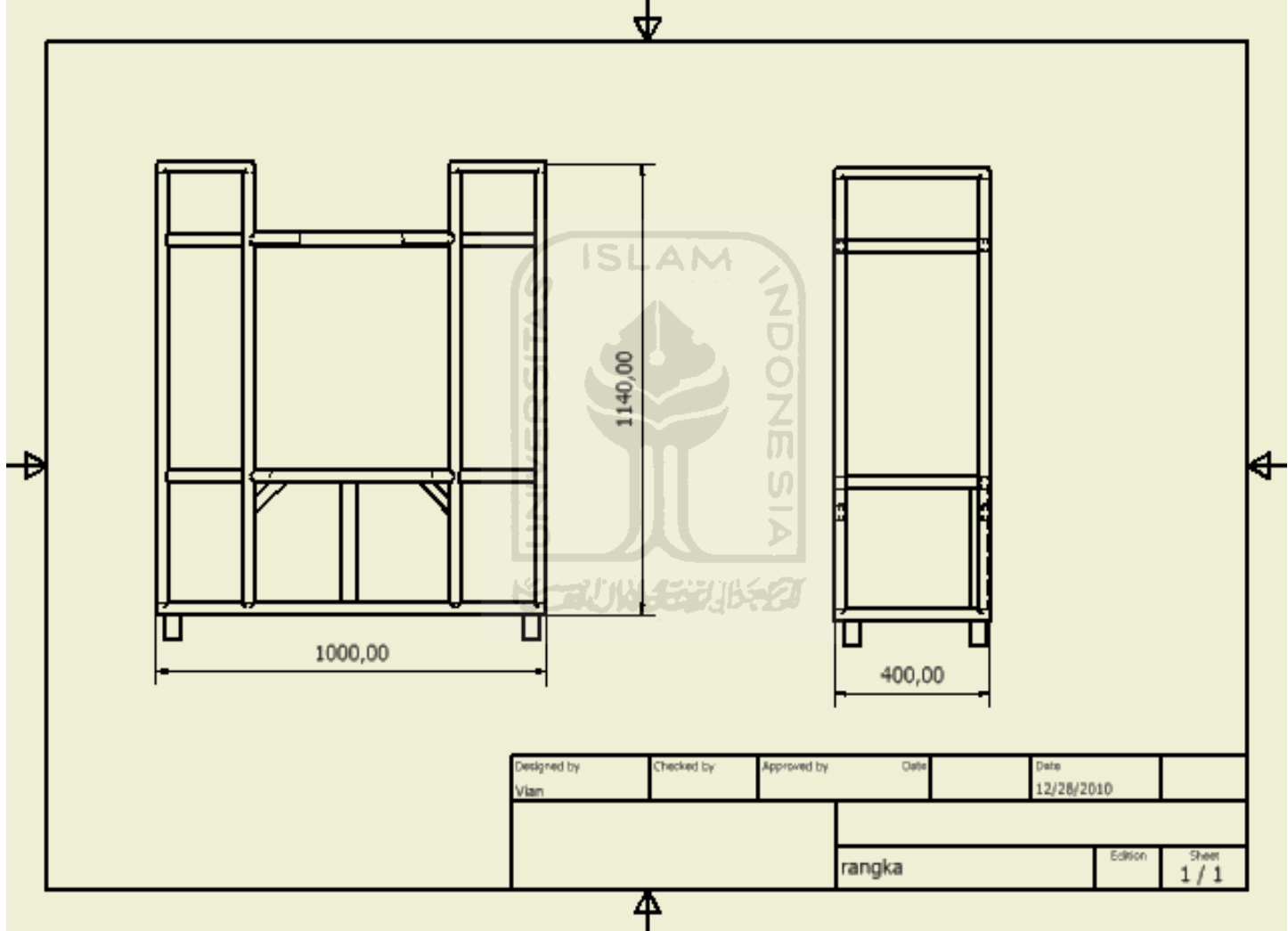


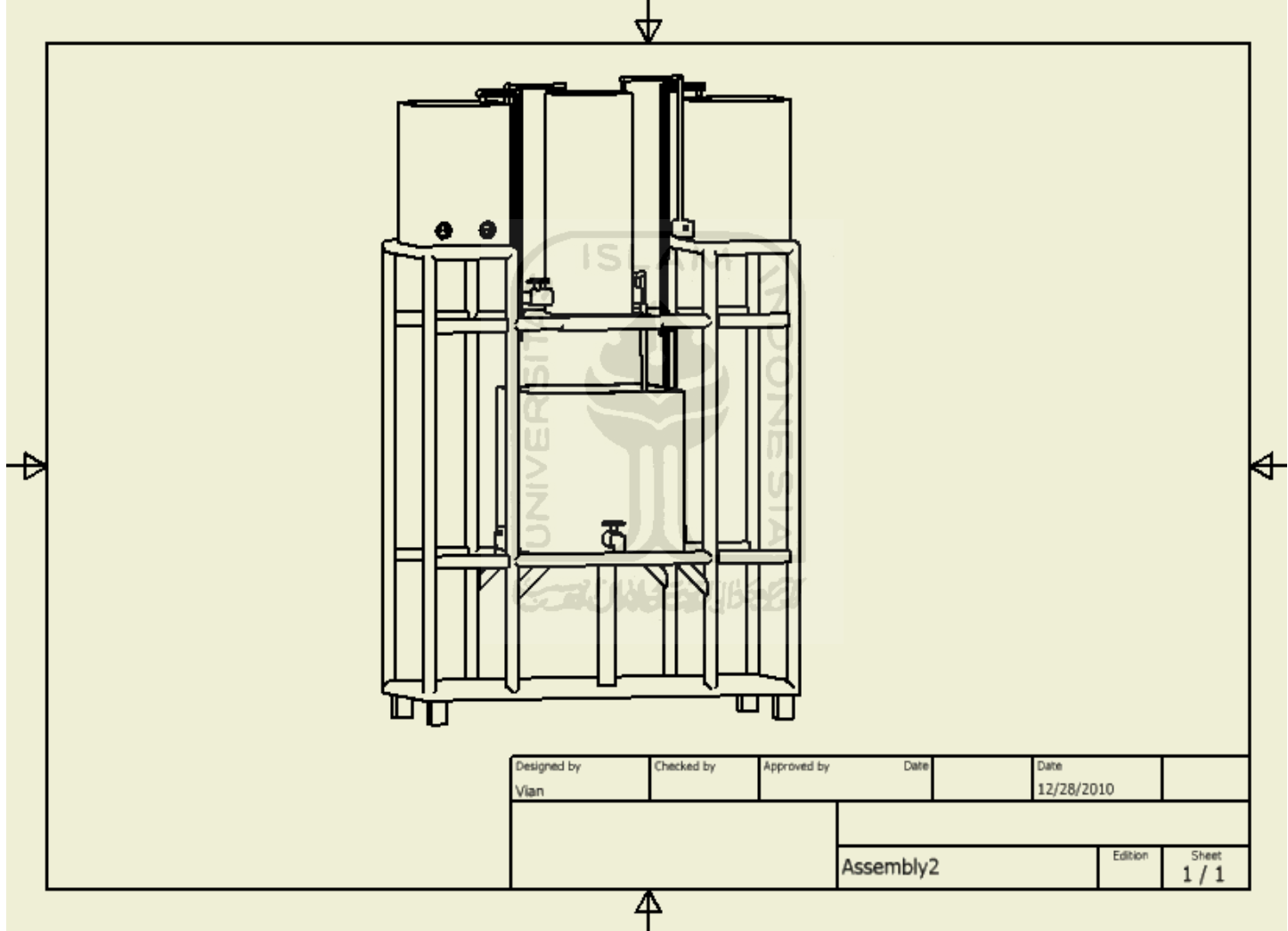
Designed by Vian	Checked by	Approved by	Class	Date 12/27/2010	
			bak penampung air dingin		
				Lesson	Sheet 1 / 1





Designed by Vian	Checked by	Approved by	Date 12/27/2010	
			Edition	Sheet 1 / 1
			bak bawah	





Features

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



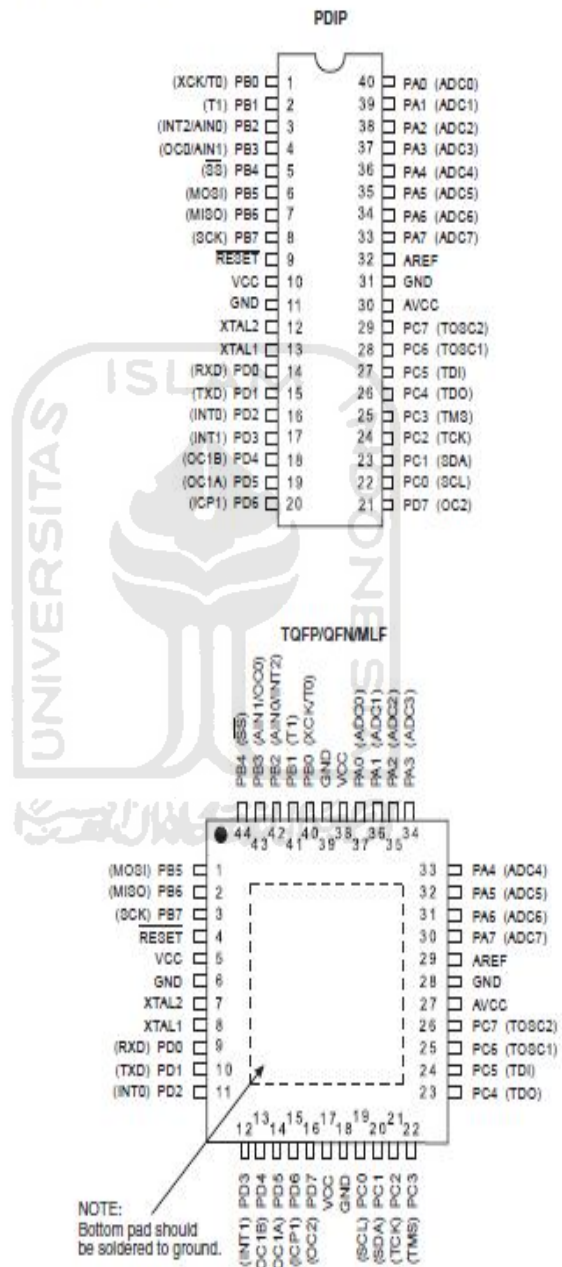
8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 16K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega16
ATmega16L



Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega16



Disclaimer

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

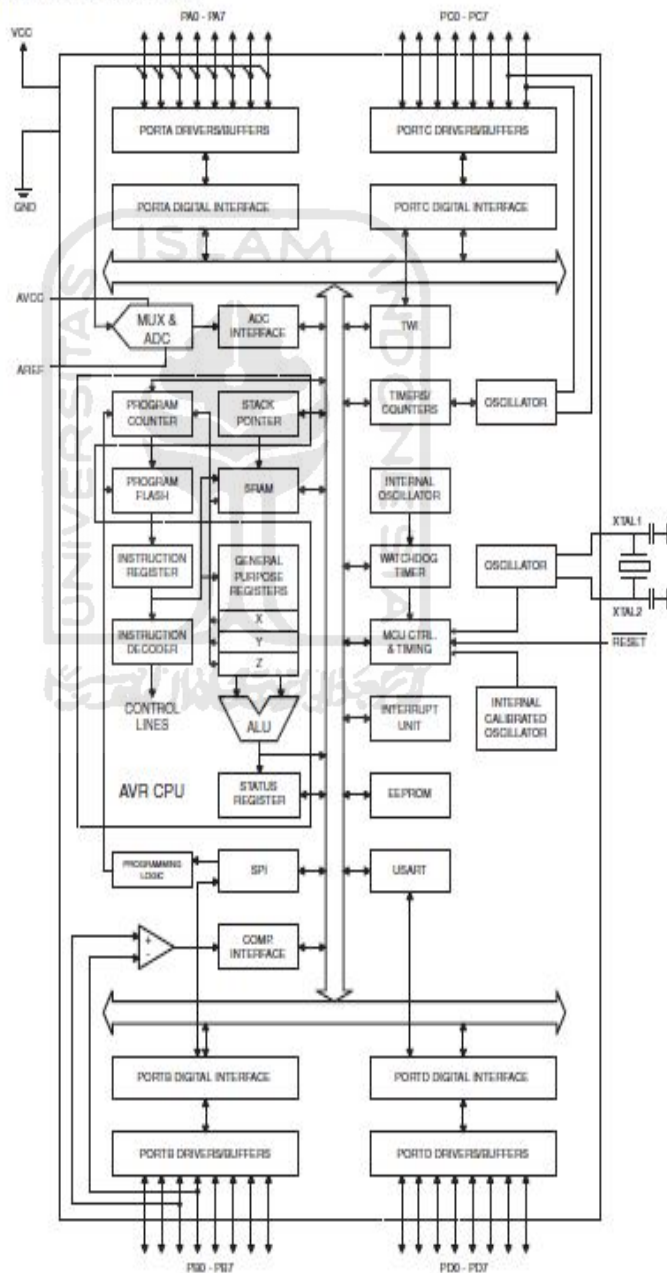
ATmega16(L)

Overview

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

Block Diagram

Figure 2. Block Diagram





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

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

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

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

Pin Descriptions

VCC

Digital supply voltage.

GND

Ground.

Port A (PA7..PA0)

Port A serves as the analog inputs to the A/D Converter.

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

ATmega16(L)

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

Analog to Digital Converter

Features

- 10-bit Resolution
- 0.5 LSB Integral Non-linearity
- ± 2 LSB Absolute Accuracy
- 13 - 260 μ s Conversion Time
- Up to 15 kSPS at Maximum Resolution
- 8 Multiplexed Single Ended Input Channels
- 7 Differential Input Channels
- 2 Differential Input Channels with Optional Gain of 10x and 200x⁽¹⁾
- Optional Left adjustment for ADC Result Readout
- 0 - V_{CC} ADC Input Voltage Range
- Selectable 2.56V ADC Reference Voltage
- Free Running or Single Conversion Mode
- ADC Start Conversion by Auto Triggering on Interrupt Sources
- Interrupt on ADC Conversion Complete
- Sleep Mode Noise Canceler

Note: 1. The differential input channels are not tested for devices in PDIP Package. This feature is only guaranteed to work for devices in TQFP and QFNMLF Packages

The ATmega16 features a 10-bit successive approximation ADC. The ADC is connected to an 8-channel Analog Multiplexer which allows 8 single-ended voltage inputs constructed from the pins of Port A. The single-ended voltage inputs refer to 0V (GND).

The device also supports 16 differential voltage input combinations. Two of the differential inputs (ADC1, ADC0 and ADC3, ADC2) are equipped with a programmable gain stage, providing amplification steps of 0 dB (1x), 20 dB (10x), or 46 dB (200x) on the differential input voltage before the A/D conversion. Seven differential analog input channels share a common negative terminal (ADC1), while any other ADC input can be selected as the positive input terminal. If 1x or 10x gain is used, 8-bit resolution can be expected. If 200x gain is used, 7-bit resolution can be expected.

The ADC contains a Sample and Hold circuit which ensures that the input voltage to the ADC is held at a constant level during conversion. A block diagram of the ADC is shown in Figure 98.

The ADC has a separate analog supply voltage pin, AVCC. AVCC must not differ more than ± 0.3 V from V_{CC} . See the paragraph "ADC Noise Canceler" on page 213 on how to connect this pin.

Internal reference voltages of nominally 2.56V or AVCC are provided On-chip. The voltage reference may be externally decoupled at the AREF pin by a capacitor for better noise performance.

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

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

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

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

Typical Applications

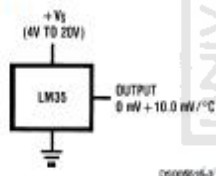
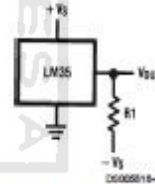


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{out}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^{\circ}\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^{\circ}\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*

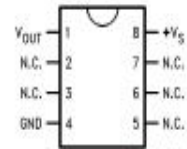


BOTTOM VIEW
D5000519-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or
LM35DH
See NS Package Number H03H

SO-8
Small Outline Molded Package



D5000519-21

N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

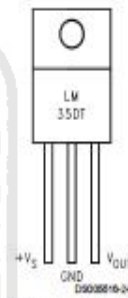
TO-92
Plastic Package



BOTTOM VIEW
D5000519-2

Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

TO-220
Plastic Package*

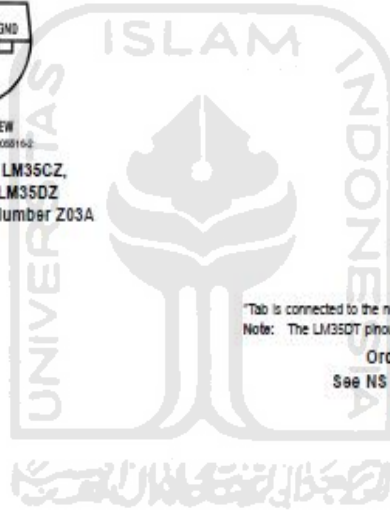


D5000519-24

*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35CP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F



Absolute Maximum Ratings (Note 10)

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

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

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

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

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

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

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $400^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient, and $24^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is $220^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is $90^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

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

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

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

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

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

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

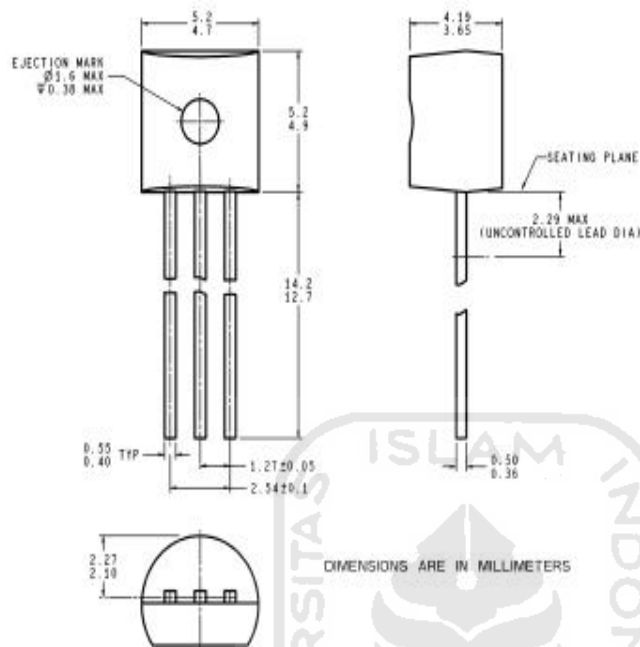
Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

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

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a $1.5 \text{ k}\Omega$ resistor.

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

Physical Dimensions Inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



TO-92 Plastic Package (Z)
 Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
 NS Package Number Z03A

20A (Rev. 0)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
 America
 Tel: 1-800-272-9959
 Fax: 1-800-737-7018
 Email: support@nsc.com
 www.national.com

National Semiconductor Europe
 Fax: +49 (0) 180-530 85 88
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch: Tel: +49 (0) 89 9508 8208
 English: Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
 Français: Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
 Tel: 65-2544488
 Fax: 65-2504488
 Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-3-5639-7580
 Fax: 81-3-5639-7507

LM2904, LM358/LM358A

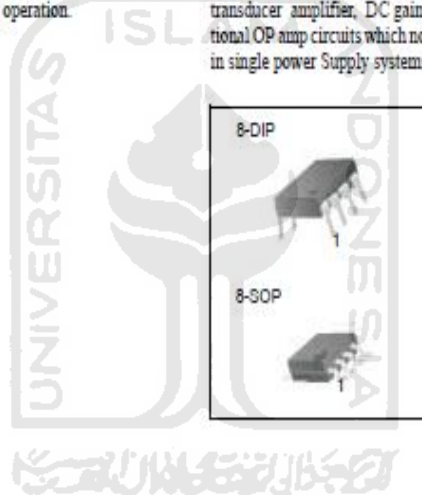
Dual Operational Amplifier

Features

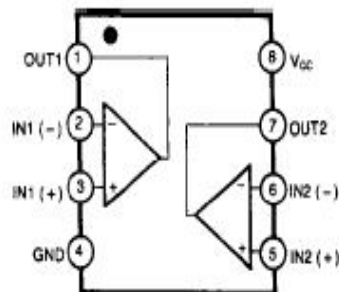
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100dB
- Wide power supply range:
LM358/LM358A: 3V-32V (or ±1.5V-16V)
LM2904 : 3V-26V (or ±1.5V-13V)
- Input common-mode voltage range Includes ground
- Large output voltage swing: 0V DC to $V_{CC} - 1.5V$ DC
- Power drain suitable for battery operation.

Description

The LM2904/LM358/LM358A consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltage. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP amp circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.

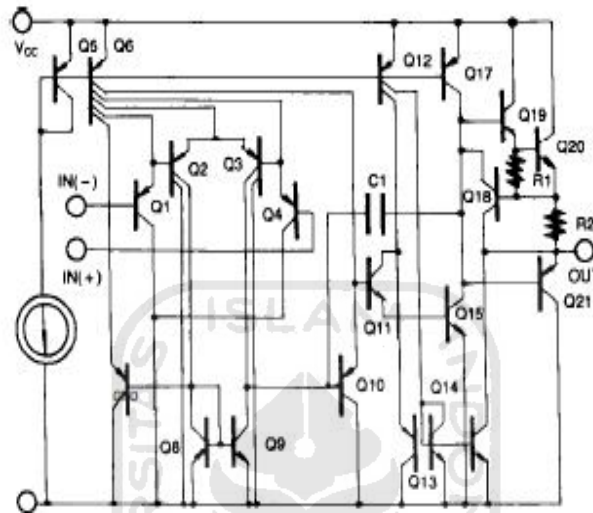


Internal Block Diagram



Schematic Diagram

(One section only)



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM358/LM358A	LM2904	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	± 16 or 32	± 13 or 26	V
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	32	26	V
Input Voltage	V_I	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND $V_{CC} \leq V$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (One Amp)	-	Continuous	Continuous	-
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0 ~ +70	-40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	-65 ~ +150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5.0V$, $V_{EE} = GND$, $T = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM358			LM2904			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to $V_{CC} - 1.5V$ $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$	-	2.9	7.0	-	2.9	7.0	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	5	50	-	5	50	nA
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	45	250	-	45	250	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	$V_{CC} = 30V$ (LM2904, $V_{CC} = 26V$)	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	-	$V_{CC} - 1.5$	V
Supply Current	I_{CC}	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30V$ (LM2902, $V_{CC} = 26V$)	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA
		$R_L = \infty$, over full temperature range	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L \geq 2K\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	25	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	$V_{CC} = 30V$, $R_L = 2K\Omega$	26	-	-	22	-	-	V
		$V_{CC} = 26V$, $R_L = 10K\Omega$ for 2904	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5V$, $R_L \geq 10K\Omega$	-	5	20	-	5	100	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	65	80	-	50	80	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	50	100	-	dB
Channel Separation	CS	$f = 1KHz$ to $20KHz$	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I_{SC}	-	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	10	30	-	10	30	-	mA
		$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	10	15	-	10	15	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 200mA$	12	100	-	-	-	-	μA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V	

Electrical Characteristics

($V_{CC}=5.0V$, $V_{EE}=GND$, unless otherwise specified)

The following specification apply over the range of $0^{\circ}C \leq T_A \leq +70^{\circ}C$ for the LM358 ; and the $-40^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$ for the LM2904

Parameter	Symbol	Conditions	LM358			LM2904			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to $V_{CC} = 1.5V$ $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$	-	-	9.0	-	-	10.0	mV
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	$R_S = 0\Omega$	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu V/^{\circ}C$
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	150	-	45	200	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	10	-	-	10	-	$pA/^{\circ}C$
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	40	500	-	40	500	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	$V_{CC} = 30V$ (LM2904, $V_{CC} = 26V$)	0	-	$V_{CC}=2.0$	0	-	$V_{CC}=2.0$	V
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L \geq 2.0K\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	15	-	-	15	-	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	$V_{CC} = 30V$, $R_L = 2K\Omega$	26	-	-	26	-	-	V
		$V_{CC} = 26V$ for 2904, $R_L = 10K\Omega$	27	28	-	27	28	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5V$, $R_L \geq 10K\Omega$	-	5	20	-	5	20	mV
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	10	30	-	10	30	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	5	9	-	5	9	-	mA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5.0V$, $V_{EE} = GND$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM358A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to $V_{CC} = 1.5V$ $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$	-	2.0	3.0	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	5	30	nA
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	45	100	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	$V_{CC} = 30V$	0	-	$V_{CC} = 1.5$	V
Supply Current	I_{CC}	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30V$	-	0.8	2.0	mA
		$R_L = \infty$, over full temperature range	-	0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L \geq 2K\Omega$ $V_O = 1V$ to $11V$	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	V_{OH}	$V_{CC} = 30V$, $R_L = 2K\Omega$	26	-	-	V
		$V_{CC} = 26V$ for 2904, $R_L = 10K\Omega$	27	28	-	V
	V_{OL}	$V_{CC} = 5V$, $R_L \geq 10K\Omega$	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	65	85	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	dB
Channel Separation	CS	$f = 1KHz$ to $20KHz$	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I_{SC}	-	-	40	60	mA
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	20	30	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	10	15	-	mA
		$V_{in+} = 0V$, $V_{in-} = 1V$ $V_{O(P)} = 200mV$	12	100	-	μA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	V

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5.0V$, $V_{EE} = GND$, unless otherwise specified)

The following specifications apply over the range of $0^{\circ}C \leq T_A \leq +70^{\circ}C$ for the LM358A

Parameter	Symbol	Conditions	LM358A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to $V_{CC} = 1.5V$ $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$	-	-	5.0	mV
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	-	7.0	20	$\mu V/^{\circ}C$
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	75	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	10	300	$pA/^{\circ}C$
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	40	200	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V_{I(R)}$	$V_{CC} = 30V$	0	-	$V_{CC} = 2.0$	V
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	$V_{CC} = 30V$, $R_L = 2K\Omega$	26	-	-	V
		$V_{CC} = 30V$, $R_L = 10K\Omega$	27	28	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5V$, $R_L \geq 10K\Omega$	-	5	20	mV
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L \geq 2.0K\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	15	-	-	V/mV
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	10	30	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	5	9	-	mA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	V

TIP120/121/122

Medium Power Linear Switching Applications

- Complementary to TIP125/126/127



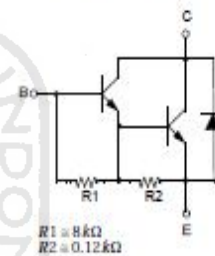
TO-220
1.Base 2.Collector 3.Emmitter

NPN Epitaxial Darlington Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: TIP120	60
		: TIP121	80
		: TIP122	100
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: TIP120	60
		: TIP121	80
		: TIP122	100
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	8	A
I_B	Base Current (DC)	120	mA
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	2	W
	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	65	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Equivalent Circuit



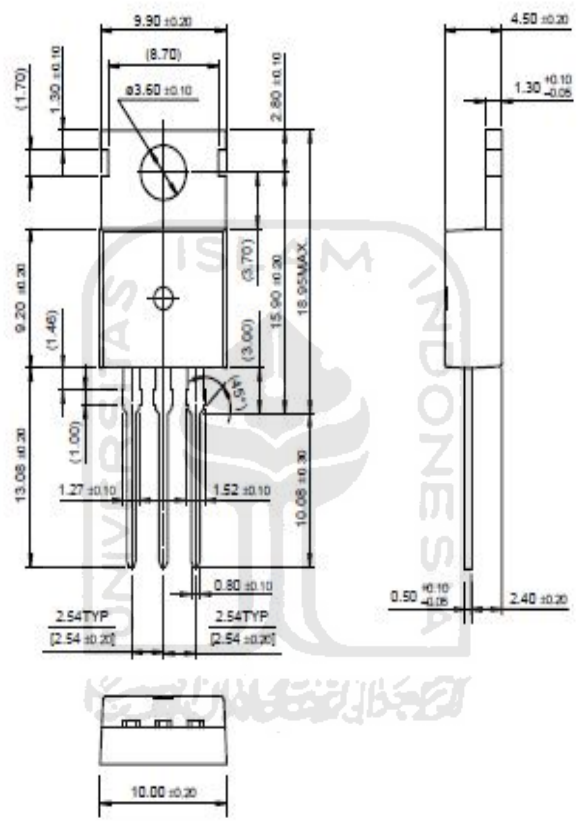
Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$V_{CE(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 100\text{mA}, I_B = 0$: TIP120	60	V
			: TIP121	80	V
			: TIP122	100	V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 30\text{V}, I_B = 0$: TIP120	0.5	mA
			: TIP121	0.5	mA
			: TIP122	0.5	mA
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 60\text{V}, I_E = 0$: TIP120	0.2	mA
			: TIP121	0.2	mA
			: TIP122	0.2	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{BE} = 5\text{V}, I_C = 0$		2	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$	1000		
		$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 3\text{A}$	1000		
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 3\text{A}, I_B = 12\text{mA}$		2.0	V
		$I_C = 5\text{A}, I_B = 20\text{mA}$		4.0	V
$V_{BE(on)}$	* Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 3\text{A}$		2.5	V
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{V}, I_E = 0, f = 0.1\text{MHz}$		200	pF

* Pulse Test : PWN300µs, Duty cycle 12%

Package Demensions

TO-220



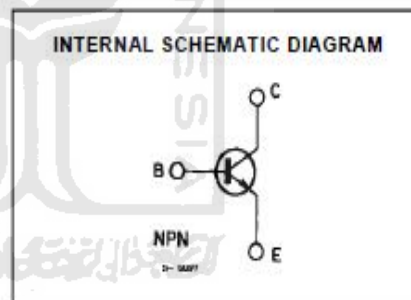
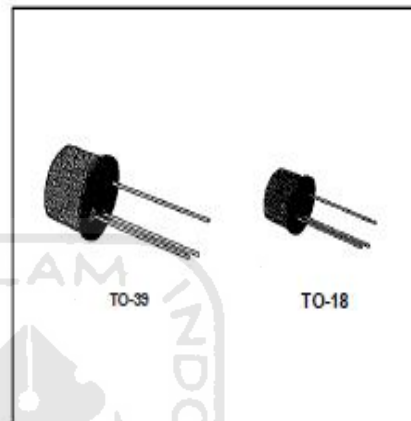
Dimensions in Millimeters

HIGH-SPEED SWITCHES

DESCRIPTION

The 2N2218, 2N2219, 2N2221 and 2N2222 are silicon planar epitaxial NPN transistors in Jedec TO-39 (for 2N2218 and 2N2219) and in Jedec TO-18 (for 2N2221 and 2N2222) metal cases. They are designed for high-speed switching applications at collector currents up to 500 mA, and feature useful current gain over a wide range of collector current, low leakage currents and low saturation voltages.

- 2N2218/2N2219 approved to CECC 50002-100, 2N2221/2N2222 approved to CECC 50002-101 available on request.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CB0}	Collector-base Voltage ($I_E = 0$)	60	V
V_{CE0}	Collector-emitter Voltage ($I_B = 0$)	30	V
V_{EB0}	Emitter-base Voltage ($I_C = 0$)	5	V
I_C	Collector Current	0.8	A
P_{tot}	Total Power Dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$ for 2N2218 and 2N2219 for 2N2221 and 2N2222 at $T_{case} \leq 25^\circ\text{C}$ for 2N2218 and 2N2219 for 2N2221 and 2N2222	0.8	W
		0.5	W
		3	W
		1.8	W
T_{stg}	Storage Temperature	- 65 to 200	$^\circ\text{C}$
T_J	Junction Temperature	175	$^\circ\text{C}$

2N2218-2N2219-2N2221-2N2222

THERMAL DATA

			2N2218 2N2219	2N2221 2N2222
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	50 °C/W	83.3 °C/W
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	187.5 °C/W	300 °C/W

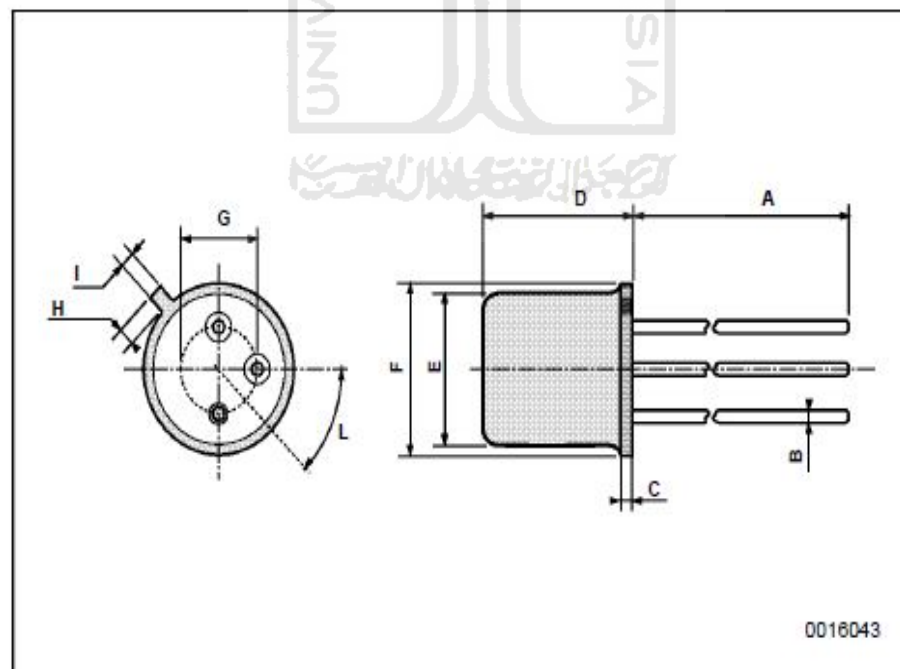
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ °C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
I_{CBO}	Collector Cutoff Current ($I_E = 0$)	$V_{CB} = 50\text{ V}$ $V_{CB} = 50\text{ V}$ $T_{amb} = 150\text{ °C}$			10 10	nA μA	
I_{EBO}	Emitter Cutoff Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 3\text{ V}$			10	nA	
$V_{(BR)CBO}$	Collector-base Breakdown Voltage ($I_E = 0$)	$I_C = 10\text{ μA}$	60			V	
$V_{(BR)CEO}^*$	Collector-emitter Breakdown Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 10\text{ mA}$	30			V	
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-base Breakdown Voltage ($I_C = 0$)	$I_E = 10\text{ μA}$	5			V	
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-emitter Saturation Voltage	$I_C = 150\text{ mA}$ $I_B = 15\text{ mA}$ $I_C = 500\text{ mA}$ $I_B = 50\text{ mA}$			0.4 1.6	V V	
$V_{BE(sat)}^*$	Base-emitter Saturation Voltage	$I_C = 150\text{ mA}$ $I_B = 15\text{ mA}$ $I_C = 500\text{ mA}$ $I_B = 50\text{ mA}$			1.3 2.6	V V	
h_{FE}^*	DC Current Gain	for 2N2218 and 2N2221 $I_C = 0.1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 500\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$ for 2N2219 and 2N2222 $I_C = 0.1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 500\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$	20 25 35 40 20 20		120		
f_T	Transition Frequency	$I_C = 20\text{ mA}$ $f = 100\text{ MHz}$ $V_{CE} = 20\text{ V}$	250			MHz	
C_{CBO}	Collector-base Capacitance	$I_E = 0$ $f = 100\text{ kHz}$ $V_{CB} = 10\text{ V}$			8	pF	
$R_{e(hie)}$	Real Part of Input Impedance	$I_C = 20\text{ mA}$ $f = 300\text{ MHz}$ $V_{CE} = 20\text{ V}$			60	Ω	

* Pulsed : pulse duration = 300 μs, duty cycle = 1 %.

TO-18 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A		12.7			0.500	
B			0.49			0.019
D			5.3			0.208
E			4.9			0.193
F			5.8			0.228
G	2.54			0.100		
H			1.2			0.047
I			1.16			0.045
L	45°			45°		



0016043