

**PENGENDALIAN TEMPERATURE LONG HOT-WIRE
UNTUK PEMOTONGAN STYROFOAM BERBASIS
MIKROKONTROLLER ATMEGA328**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

I GEDE DHARMA DHYATMIKA

NIM. 0610630050 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2012

**PENGENDALIAN TEMPERATURE LONG HOT-WIRE
UNTUK PEMOTONGAN STYROFOAM BERBASIS
MIKROKONTROLLER ATMEGA328**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

I GEDE DHARMA DHYATMIKA

NIM. 0610630050 - 63

Telah diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing :

Dosen Pembimbing I

Ir. Purwanto, MT.
NIP. 19540424 19860 1 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Bambang Siswojo, MT.
NIP. 19621211 198802 1 001

**PENGENDALIAN TEMPERATURE LONG HOT-WIRE
UNTUK PEMOTONGAN STYROFOAM BERBASIS
MIKROKONTROLLER ATMEGA328**

SKRIPSI

Disusun Oleh :

I GEDE DHARMA DHYATMIKA

NIM. 0610630050 – 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 09 Februari 2012

Majelis Penguji

Fitriana Suhartati, ST., MT.
NIP. 19741017 199802 2 001

Tri Nurwati, ST., MT.
NIP. 19790615 200812 2 003

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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS
NIP. 19580728 198701 1 001

PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas Rahmatnya lah skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi berjudul “Pengendalian Temperature Long Hot-wire untuk Pemotongan Styrofoam Berbasis Mikrokontroller ATMEGA328” ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

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

- Ibuku tercinta Ni Kadek Asmini, Bapakku yang terhormat I Gede Supranata, Adikku yang tersayang Desy dan Tami serta seluruh keluarga besar atas segala nasehat, kasih sayang, perhatian dan kesabarannya di dalam membesarkan dan mendidik penulis, serta telah banyak mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
- Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Kontrol Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Mochammad Rif’an, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Ir. Purwanto, MT., dan Bapak Ir. Bambang Siswoyo MT., selaku Dosen Pembimbing 1 dan Dosen Pembimbing 2 atas segala bimbingan, nasehat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan yang telah diberikan,
- Bapak Ir. Bambang Siswoyo MT., dan Ibu Rini Nur Hasanah ST MSc Phd, selaku Dosen Pembimbing Akademik atas nasehat, saran dalam membimbing penulis dalam perkuliahan,

- Rahman arief selaku rekan dalam pengerjaan skripsi yang telah membantu memberikan pengarahan dan bimbingan.
- Ni Made Tusan beserta keluarga, terima kasih untuk segala dukungan dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis hingga terselesaikannya skripsi ini,
- Bendol, Andika, Kecap, Yusron, Pe'chun, Duta, Denny, Kunan, Adek, Lunde, Sherge, Gundul, Aflah, Kacong kuru, Kacong lemu, Rendi, Andik, Ridho, Indro, Probo, Irfan, Nyamuk, Aziz, Rianto, Gandar, Tile, Toni, Purnowo, Eki, dan Bams yang telah banyak membantu dalam memberikan saran dan masukannya,
- Made Dwita Shanti yang selalu memberikan semangat dan dukungan, terimakasih atas pendampingan dan kesabarannya selama ini.
- Teman-teman Ge Force,ASGA,KMHDI teman-teman di kelembagaan, senior serta semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis untuk mencantumkan namanya satu-persatu, terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

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

Malang, January 2012

Penulis

ABTRAKSI

I Gede Dharma Dhyatmika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2012.

“ Pengendalian Temperature Long Hot-Wire untuk Pemotongan Styrofoam Berbasis Mikrokontroler Atmega 328 ”. Dosen Pembimbing : **Ir. Purwanto, MT** dan **Ir. Bambang siswojo, MT**.

Penggunaan mikrokontroler yang semakin luas terutama dalam bidang industri dalam proses otomatisasinya, mengakibatkan banyak sekali proses produksi yang semakin dipermudah. Dalam skripsi ini mikrokontroler digunakan dalam pemotongan Styrofoam untuk bentukan yang memanjang, contohnya digunakan pada pesawat aeromodelling dan pengaplikasiannya digunakan sebagai kontroller atau pengendalian temperature Long Hot-Wire untuk pemotongan Styrofoam berbasis Mikrokontroler. Agar panas pada Long Hot-wire sesuai yang dibutuhkan dalam pemotongan maka yang dikontrol atau dikendalikan adalah suhu, karena jika panas terlalu tinggi atau rendah maka hasil potong tidak merata atau kasar ,dengan pengaturan suhu pada Long Hot-wire ini diharapkan hasil pemomotongan yang rapi dan merata.

Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler AVR Atmega 328. Sistem bekerja sesuai spesifikasi yang diinginkan. Pada pengujian Nilai error tekecil pada set point suhu 95°C dengan persentasi error sebesar 0,06% dan nilai error terbesar pada set point temperature 85°C persentase error sebesar 0,14%. Untuk rata-rata error steady state pada pengujian sistem secara keseluruhan adalah 0,01154%. Kontroler sudah dapat bekerja pada sistem dengan baik jika dibandingkan dengan tanpa kontroler sehingga alat ini mampu menghasilkan pemotongan yang rapi da uniform.

Kata kunci: ***pengendalian suhu, Long Hot-wire, mikrokontroler ATmega 328, sensor suhu.***

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

ABSTRAK iii

DAFTAR ISI
iv

DAFTAR GAMBAR
vii

DAFTAR TABEL
ix

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Batasan Masalah 3

1.4 Tujuan 3

1.5 Sistematika Penulisan 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Styrofoam 5

2.1.1 Pengertian Styrofoam 5

2.1.2 Bahan Dasar Styrofoam 5

2.1.3 Titik Leleh 5

2.1.4 Kelenturan dan Kekuatan 6

2.1.5 Jenis-jenis Styrofoam 6

2.2 Perkembangan alat potong Styrofoam 7

2.3 ADC (Analog to Digital Converter) 9

2.4 Mikrokontroler AVR Atmega328 13

2.5 Pengkondisi sinyal 15

2.5.1 Penguat Operasional 16

2.5.2 Penguat Tak Membalik (Non Inverting Amplifier) 16

2.6 LCD 18



2.7 PWM (Pulse Width Modulation).....	20
BAB III METODOLOGI.....	24
3.1 Studi Literatur.....	24
3.2 Perancangan Sistem	24
3.2.1 Diagram Blok	25
3.3 Pengujian Sistem	25
3.4 Pengambilan Kesimpulan.....	26
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	27
4.1 Perancangan Sistem.....	27
4.1.1 Blok Diagram Alat	27
4.1.2 Prinsip kerja alat.....	28
4.1.2.1 Mikrokontroler AVR ATmega 328	28
4.1.2.2 PWM Switching	29
4.1.2.3 Plant.....	29
4.1.2.1 Sensor Suhu	29
4.1.2.1 Pengkondisi Sinyal.....	29
4.1.3 Prinsip kerja alat keseluruhan	29
4.2 Perancangan Perangkat Keras	30
4.2.1 Long Hot-wire.....	31
4.2.2 Sensor Suhu LM335.....	33
4.2.3 Rangkaian Pengkondisi Sinyal.....	34
4.2.4 Rangkaian Mikrokontroler ATmega328	38
4.2.5 Rangkaian LCD M1632.....	39
4.2.6 Rangkaian Tombol	40
4.3 Perancangan Perangkat Lunak	43
4.3.1 Program Utama.....	46
4.3.2 Program Subrutin Kontroller	47
4.3.3 Program Subrutin Keypad.....	48

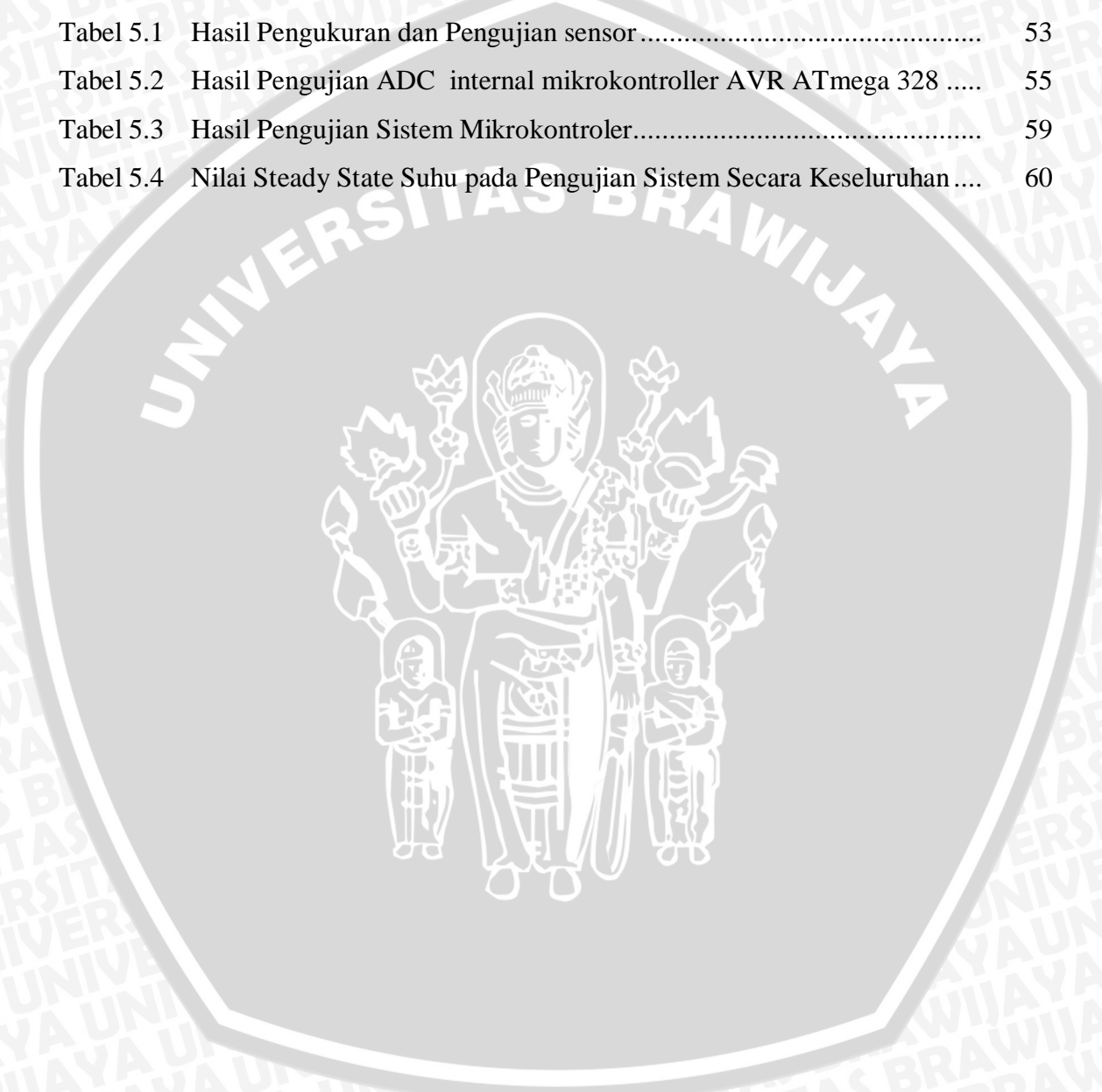
BAB V	PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM	49
5.1	Pengujian Rangkaian Sensor Suhu.....	49
5.1.1	Tujuan pengujian.....	49
5.1.2	Peralatan Pengujian.....	49
5.1.3	Prosedur pengujian.....	50
5.1.4	Hasil dan Analisis pengujian.....	51
5.2	Pengujian ADC.....	53
5.2.1	Tujuan pengujian.....	53
5.2.2	Peralatan pengujian.....	53
5.2.3	Prosedur pengujian.....	54
5.2.4	Hasil dan Analisis Pengujian.....	55
5.3	Pengujian LCD.....	55
5.3.1	Tujuan pengujian.....	55
5.3.2	Peralatan Pengujian.....	55
5.3.3	Prosedur pengujian.....	56
5.3.4	Hasil pengujian.....	57
5.4	Pengujian Mikrokontroler ATmega 328.....	58
5.4.1	Tujuan pengujian.....	58
5.4.2	Peralatan Pengujian.....	58
5.4.3	Prosedur pengujian.....	58
5.4.4	Hasil pengujian.....	59
5.5	Pengujian Sistem Keseluruhan.....	59
5.4.1	Tujuan pengujian.....	59
5.4.2	Peralatan Pengujian.....	59
5.4.3	Prosedur pengujian.....	59
5.4.4	Hasil pengujian.....	60
5.5	Pengujian Sistem dengan Disturbance Suhu.....	61
5.4.1	Tujuan pengujian.....	62
5.4.2	Peralatan Pengujian.....	62
5.4.3	Prosedur pengujian.....	62

5.4.4 Hasil pengujian.....	62
BAB VI PENUTUP	65
6.1 Kesimpulan	65
6.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN 1 Foto Alat	67
LAMPIRAN 2 Listing Program	67
LAMPIRAN 2 Datasheet Komponen	67
DAFTAR GAMBAR	
Gambar 2.1 Cutter.....	7
Gambar 2.2 Hotwire tool.....	8
Gambar 2.3 Diagram Blok ADC.....	10
Gambar 2.4 Blok Diagram ATmega328	14
Gambar 2.5 Penguat Op-Amp.....	15
Gambar 2.6 Penguat Tak Membalik	16
Gambar 2.7 Diagram Blok LCD M1632.....	18
Gambar 2.8 Sinyal Keluaran PWM.....	19
Gambar 2.9 Duty Cycle PWM.....	20
Gambar 2.10 Cara Mendapatkan Sinyal PWM	21
Gambar 2.11 Sinyal Sumber yang Dimodulasi dan Sinyal PWM	21
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem	25
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem	28

Gambar 4.2	Rangkaian Keseluruhan Alat	30
Gambar 4.3	Sensor Suhu LM335	33
Gambar 4.4	Blok Diagram Pengkondisi Sinyal	34
Gambar 4.5	Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Temperatur LM335	35
Gambar 4.6	Rangkaian Perencanaan Mikrokontroler Atmega328	38
Gambar 4.7	Konfigurasi Pin LCD Display	40
Gambar 4.8	Flowchart Tombol	41
Gambar 4.9	Rangkaian Perencanaan Tombol	42
Gambar 4.10	Flowchart Program Utama	43
Gambar 4.11	Flowchart Program Subrutin Keypad	44
Gambar 4.12	Flowchart Program subrutin controller	45
Gambar 5.1	Blok diagram pengujian rangkaian sensor Suhu	50
Gambar 5.2	Grafik Perbandingan Antara Kondisi Suhu Dengan V_{out} pada Sensor Suhu	53
Gambar 5.3	Blok Diagram Pengujian ADC	54
Gambar 5.4	Diagram alir program pada Mikrokontroler	56
Gambar 5.5	Blok diagram pengujian Mikrokontroler dan LCD	57
Gambar 5.6	Tampilan data karakter pada LCD	57
Gambar 5.7	Diagram Blok Pengujian Mikrokontroler	58
Gambar 5.8	Grafik Pengujian Steady State Temperatur	61
Gambar 5.8	Grafik Pengujian Steady State dengan Disturbance Suhu	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Fungsi Pin-Pin pada LCD M1632	18
Tabel 5.1	Hasil Pengukuran dan Pengujian sensor	53
Tabel 5.2	Hasil Pengujian ADC internal mikrokontroler AVR ATmega 328	55
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Sistem Mikrokontroler	59
Tabel 5.4	Nilai Steady State Suhu pada Pengujian Sistem Secara Keseluruhan	60



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan zaman menuntut masyarakat modern untuk lebih efektif dan efisien dalam melakukan aktifitas. Tuntutan ini membuat kebutuhan akan barang-barang yang bersifat praktis meningkat. Segala sesuatu dibuat sedemikian rupa agar bersifat praktis sehingga mudah digunakan. Salah satu dari sekian banyak barang yang bersifat praktis adalah barang-barang yang terbuat dari *styrofoam*. *Styrofoam* dapat dibuat menjadi berbagai jenis barang karena sifatnya yang mudah dibentuk, lentur, kuat, dan ringan. Banyak barang-barang yang dibuat dari bahan konvensional dapat digantikan oleh *styrofoam*, misalnya kotak makanan, cup gelas, tikar, barang-barang kerajinan, perlengkapan dekorasi, maket bangunan, pemodelan, dan masih banyak lagi. Karena fungsi *styrofoam* yang begitu banyak ini maka penggunaan *styrofoam* perlu dimaksimalkan.

Styrofoam atau plastik busa adalah salah satu jenis plastik. Kata "*styrofoam*" sebenarnya merupakan nama dagang yang telah dipatenkan oleh perusahaan Dow Chemical untuk salah satu jenis plastik kemasan, yaitu polystyrene foam. *Styrofoam* sangat ringan, karena kandungan di dalamnya 90%-95% udara dan 5-10% styrene. *Styrofoam* umumnya digunakan sebagai bahan pelindung dan penahan getaran barang-barang yang mudah pecah atau peka terhadap guncangan, seperti alat elektronik. Jenis plastik ini dinamakan "gabus" oleh beberapa kalangan masyarakat Indonesia. Bahan dasar *styrofoam* adalah polystyrene, suatu jenis plastik yang sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah, namun bahan tersebut cepat rapuh. Karena kelemahannya tersebut, polystyrene di campur dengan senyawa butadien. Hal ini menyebabkan polystyrene kehilangan sifat jernihnya dan berubah menjadi putih susu. Kemudian untuk kelenturannya, ditambahkan zat plasticizer seperti dioktiltattat (DOP), butil hidroksi tolulena, atau n butyl stearat. Plastik busa yang mudah terurai menjadi struktur sel-sel kecil merupakan hasil proses peniupan dengan menggunakan gas chlorofluorocarbon (CFC). Hasilnya adalah bentuk seperti yang dipergunakan saat ini. Karena merupakan salah satu jenis plastik yang lentur, maka *styrofoam* pun dapat meleleh jika dipanaskan.

Styrofoam banyak digunakan dalam berbagai aplikasi dan bentuk, oleh karena itu diperlukan suatu teknik pemotongan yang efektif. Teknik pemotongan *styrofoam* pada awalnya hanya menggunakan pisau biasa. Namun, ketika ditemukan pisau lipat atau yang saat ini populer disebut cutter, maka pisau biasa pun berangsur-angsur ditinggalkan dan jarang digunakan untuk memotong *styrofoam*. Kemampuan

memotong cutter sangat terbatas, karena tidak dapat digunakan untuk memotong atau mengiris *styrofoam* yang cukup tebal, terutama yang berbentuk kubus atau balok. Sering kali cutter yang digunakan patah atau hasil potongan tidak lurus dan sempurna. Seiring berkembangnya seni rupa dan dekorasi, maka kemampuan cutter sebagai pemotong *styrofoam* mulai ada kekurangannya terutama untuk memotong garis melengkung atau bentuk kurva non linear. Karena itu diproduksi jenis pemotong *styrofoam* yang lebih modern, yaitu menggunakan elemen kawat yang dipanaskan menggunakan heater listrik. Hal ini dilatar belakangi dari sifat *styrofoam* yang meleleh apabila dikenai panas. Alat ini hanya mampu digunakan untuk membentuk pola-pola berukuran kecil dan masih dioperasikan secara manual (menggunakan tangan), sehingga sangat tergantung dengan keahlian tangan yang mengoperasikan.

Teknik pemotongan *styrofoam* sangat beragam tergantung kepada penggunaan *styrofoam* ini, untuk pemotongan *styrofoam* yang berbentuk balok dan hasil pemotongan yang memanjang dibutuhkan suatu teknik bernama Long Hot-wire cutting *styrofoam*, teknik pemotongan ini bertujuan untuk mendapatkan hasil potong yang rapi dan uniform. Long Hot-wire Cutting *styrofoam* menggunakan kawat nikelin dengan diameter tertentu yang dibuat memanjang dan dialiri arus listrik, selain itu suhu pada kawat ini diatur agar didapat suhu optimal untuk pemotongan. Selain itu suhu pada kawat harus terdistribusi secara merata sehingga didapat hasil pemotongan yang rapi dan uniform. Contoh pemotongan *styrofoam* dengan long Hot-wire cutting ini adalah untuk, fuselage dan fixed wing pada rangka pesawat rc model.

Ketepatan pemotongan *styrofoam* ini sangat diperlukan agar menghasilkan kualitas pemotongan yang bagus dan ukurannya tepat, panas yang tidak sesuai menyebabkan kualitas pemotongan menjadi tidak rapi, hal ini tergantung pada jenis *styrofoam* yang digunakan. Adapun parameter yang menentukan kualitas pemotongan adalah : temperatur kawat pemotong, jenis *styrofoam*, kecepatan pemotong, luas pemotongan.

Dalam skripsi ini dirancang suatu alat pemotong *styrofoam* yang digunakan untuk mendapatkan hasil pemotongan yang memanjang sesuai dengan penggunaan *styrofoam* nantinya. Alat ini berupa kawat panas (Hot-wire) yang panjangnya dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan.

Karena kualitas pemotongan sangat bergantung pada suhu kawat, maka diperlukan suatu power supply yang dapat mengontrol arus agar sesuai dengan kebutuhan *styrofoam*. Pada hotwire dipasang sensor suhu sebagai feedback untuk

power supply sehingga suhu tetap terjaga dan menghasilkan potongan *styrofoam* yang rapi dan uniform.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang alat pemotong *styrofoam* berupa Hot-wire dengan pengontrolan suhu secara otomatis.
2. Bagaimana merancang perangkat keras berupa power supply daya arus yang dapat dikontrol menggunakan Mikrokontroler?
3. Bagaimana merancang perangkat lunak untuk Mikrokontroler ATMEGA 328 yang dapat bekerja sesuai dengan sistem pengontrolan temperatur pada power supply hot-wire *styrofoam* cutter.

1.3 Batasan Masalah

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

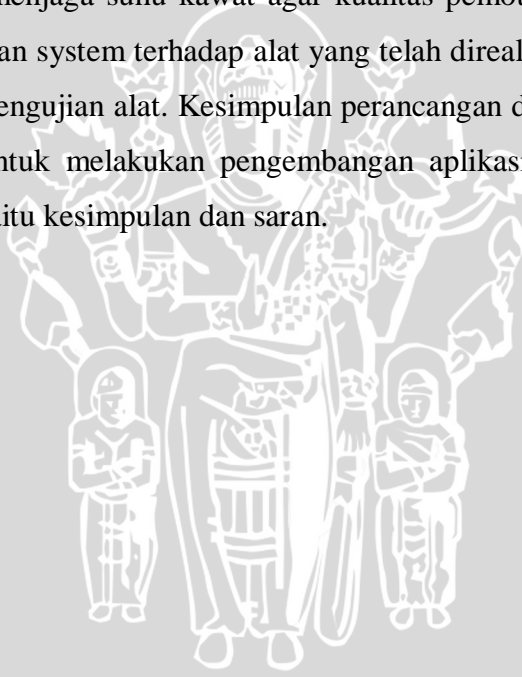
1. Otomatisasi sistem dengan menggunakan Mikrontroller ATMEGA 328 dan pengontrolan suhu pada Long Hot-wire.
2. Untuk software pemrograman menggunakan bahasa C.
3. Untuk Parameter sistem temperatur 80°C-95°C, panjang kawat maksimal 2 meter, ketebalan 0,2 mm, tegangan 50 V DC, arus minimal 1,25 A.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah terciptanya Long Hot-wire cutter *Styrofoam* dengan hasil pemotongan yang rapi dan uniform.

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini ditulis dengan sistematika penulisan yang ada. Sistematika penulisan terdiri dari 5 bab. Bab 1 adalah pendahuluan yang menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan. Bab 2 adalah tinjauan pustaka yang berisi dasar teori penunjang penelitian. Pustaka yang diambil adalah pustaka yang relevan dan sesuai serta mendukung penelitian, seperti buku-buku ilmu pengaturan, dan lain-lain. Selain dari buku pustaka juga akan diambil dari jurnal, internet dan sumber pengetahuan yang lain. Metode penelitian dan perancangan alat dibahas pada bab 3 yaitu metodologi. Bab 4 membahas tentang otomatisasi system dengan menggunakan Mikrokontroler AVR 1280 untuk menjaga suhu kawat agar kualitas pemotongan tetap terjaga. Hasil pengujian system terhadap alat yang telah direalisasikan ditulis pada bab 5 yaitu pengujian alat. Kesimpulan perancangan dan saran-saran yang diperlukan untuk melakukan pengembangan aplikasi selanjutnya ditulis pada bab 6 yaitu kesimpulan dan saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Styrofoam

2.1.1 Pengertian Styrofoam

Styrofoam atau plastik busa adalah salah satu jenis palastik. Kata ”*styrofoam*” sebenarnya merupakan nama dagang yang telah dipatenkan oleh perusahaan dow chemical untuk salah satu jenis plastik kemasan, yaitu *polystyrene foam*. *Polystyrene foam* atau dikenal luas dengan istilah *styrofoam* seringkali digunakan secara tidak tepat oleh publik karena sebenarnya *styrofoam* merupakan nama dagang yang telah dipatenkan oleh perusahaan Dow Chemical. Oleh pembuatnya *styrofoam* dimaksudkan untuk digunakan sebagai insulator pada bahan konstruksi bangunan, bukan untuk kemasan pangan. *Polystyrene foam* dibuat dari monomer stirena melalui polimerisasi suspensi pada tekanan dan suhu tertentu, selanjutnya dilakukan pemanasan untuk melunakkan resin dan menguapkan sisa blowing agent. *Polystyrene foam* merupakan bahan plastik yang memiliki sifat khusus dengan struktur yang tersusun dari butiran dengan kerapatan rendah, mempunyai bobot ringan, dan terdapat ruang antar butiran yang berisi udara .

2.1.2 Bahan Dasar Styrofoam

Styrofoam sangat ringan, karena kandungan di dalamnya 90-95% udara dan 5-10% *styrene*, umumnya digunakan sebagai bahan pelindung dan penahan getaran barang-barang yang mudah pecah atau peka terhadap terhadap guncangan, seperti alat elektronik. Jenis plastik ini dinamakan ”gabus” oleh beberapa kalangan masyarakat Indonesia. Bahan dasar *styrofoam* adalah polystyrene, suatu jenis plastik yang sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah. Namun, bahan tersebut cepat rapuh, karena kelemahannya tersebut, polysterine di campur seng dan senyawa butadien. Hal ini menyebabkan *polystyrene* kehilangan sifat jernihnya dan berubah menjadi putih susu. Kemudian untuk kelenturanya, ditambahkan zat *plasticier* seperti dioktilptatat (DOP), butil hidroksi tolulena, atau n butyl stearat. Plastik busa yang mudah terurai menjadi struktur sel-sel kecil merupakan hasil

proses peniupan dengan menggunakan gas chorofluorocarbon (CFC). Hasilnya adalah bentuk seperti yang dipergunakan saat ini. Polyester memiliki massa jenis sampai 1050 kg/m^3 , kuat tarik sampai 40 MN/m^2 , modulus geser sampai $0,990 \text{ GN/m}^2$ dan angka poisson $0,330$ (crawford,1998 dalam Wijaya, 2005).

2.1.3 Titik Leleh

Karena merupakan salah satu jenis plastik yang lentur, maka *styrofoam* pun dapat meleleh jika dipanaskan. Umumnya *polystyrene* yang merupakan penyusun utama *styrofoam* meleleh pada suhu 80°C . ("bahaya dan keuntungan kemasan primer"2008, july).

2.1.4 Kelenturan dan Kekuatan

Pada dasarnya *styrofoam* merupakan bahan yang cepat rapuh, karena kelemahannya tersebut, polysterine di campur seng dan senyawa butadien. Pencampuran senyawa-senyawa tersebut menyebabkan *polystyrene* kehilangan sifat jernihnya dan berubah menjadi putih susu. Untuk kelenturannya, *styrofoam* ditambahkan zat plasticier seperti dioktilptatat (DOP), butil hidroksi tolulena, atau n butyl stearat. Plastik busa yang mudah terurai menjadi struktur sel-sel kecil merupakan hasil proses peniupan dengan menggunakan gas chorofluorocarbon (CFC). Hasilnya adalah bentuk seperti yang dipergunakan saat ini. Polyesterine memiliki massa jenis sampai 1050 kg/m^3 , kuat tarik sampai 40 MN/m^2 , modulus geser sampai $0,990 \text{ GN/m}^2$ dan angka poisson $0,330$ (crawford,1998 dalam Wijaya, 2005). Koefisien gesek polystyrene atau styrofoam dengan baja, yaitu antara $0,3-0,35$ (coefficient of friction, 2006). Karena merupakan salah satu jenis plastik yang lentur, maka styrofoam pun dapat meleleh jika dipanaskan. Umumnya polystyrene yang merupakan penyusunan utama styrofoam meleleh pada suhu 80°C . ("bahaya dan keuntungan kemasan primer"2008, july).

2.1.5 Jenis-jenis Styrofoam

2.1.5.1 EPO

EPO (Piocelan) adalah bahan busa jenis baru. Bahan EPO mempunyai daya tahan tertinggi, serta berkualitas baik dan jenis busa yang relatif tangguh, tidak cepat patah seperti beberapa jenis busa lainnya.

2.1.5.2 EPS

Expanded polystyrene (EPS) adalah busa paling umum, digunakan untuk model arsitektur, cetakan beton, dan prototype. EPS secara teknis adalah plastik. Kata “plastik” berasal dari *plastikos* Yunani, yang berarti mampu dibentuk. Sifatnya yang mudah untuk didesain dan dikreasikan membuat EPS sangat fungsional dan bermanfaat. Contoh penggunaan EPS pelindung *hardware* dan produk rumah tangga lainnya. Kita dapat menemukan begitu banyak penggunaan EPS dalam kehidupan sehari-hari.

2.1.5.3 EPP

Poliolefin adalah kelompok terbesar termoplastik, sering disebut sebagai termoplastik komoditi. EPP adalah polimer olefin sederhana seperti ethylene, propylene, butenes, isoprenes, pentenes, kopolimer dan modifikasi dari poliolefin itu sendiri. Poliolefin hanya terdiri dari atom karbon dan hidrogen, bersifat non-aromatik. Poliolefin yang paling umum digunakan adalah polythylene dan polypropylene (EPP), kedua jenis poliolefin ini sangat populer karena harganya yang murah dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi.

2.1.5.4 Depron

Depron adalah sel busa styrofoam tertutup dalam bentuk lembaran, merupakan media yang bagus untuk membangun pesawat model, dan juga media yang populer untuk membangun suatu model arsitektur, serta perahu model dan desain prototype. Bahan ini cukup ringan dan kuat untuk membawa motor baterai elektrik yang ringan. Depron dikembangkan terutama digunakan sebagai isolasi panas dan suara. Depron sebenarnya polystyrene (EPS/XPS) yang lebih kuat dan padat dalam bentuk sel busa tertutup. Terbuka atau tertutupnya sel mengacu pada struktur.

Sel jenis terbuka (jenis spons) dapat menyerap air atau lem sehingga sel jenis terbuka kurang cocok untuk pembuatan pesawat model. Sel busa tertutup lebih unggul karena lebih sedikit menyerap lem dan lebih tahan air. Permukaannya yg tertutup menambahkan kekuatan. Keunggulan jenis sel tertutup lainnya adalah mudah untuk dicat dalam finishing pesawat model.

2.2 Perkembangan Alat Pemotong Styrofoam

Alat pemotong *styrofoam* pada awalnya hanya menggunakan pisau biasa. Namun, ketika ditemukan pisau lipat atau yang saat ini populer disebut cutter, maka pisau biasa pun berangsur-angsur ditinggalkan dan jarang digunakan untuk memotong *styrofoam*.

Hal ini dipicu karena cutter ternyata memiliki banyak keunggulan, misalnya lebih ringan, lebih tajam dalam memotong, berkas potongannya sangat tipis dan halus. Gambar cutter diperlihatkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1. Cutter

Sumber : <http://quiltbug.com/notions/rotary-cutters.htm>

Seiring berkembangnya seni rupa dan dekorasi, maka kemampuan cutter sebagai pemotong *styrofoam* mulai ada kekurangan terutama untuk memotong garis melengkung atau bentuk kurva non linear. Hal ini membuat diproduksi suatu jenis pemotong *styrofoam* yang lebih modern, yaitu menggunakan elemen kawat yang dipanaskan menggunakan *heater* listrik. Hal ini dilatarbelakangi dari sifat *styrofoam* yang meleleh apabila dikenai panas. Alat ini hanya mampu digunakan untuk membentuk pola-pola berukuran kecil dan dioperasikan secara manual (menggunakan tangan). Penggunaan kawat panas ini sangat tergantung dengan keahlian tangan yang mengoperasikan. Selain itu, alat ini menghasilkan



panas yang cukup berbahaya dan dapat menimbulkan luka bakar yang serius jika tidak dioperasikan dengan baik.

Gambar 2.2 Hot wire tool

Sumber : <http://bignews.biz/?id=885949&keys=cnc-wire-foam-cutter>

Karena keterbatasan alat – alat pemotong tersebut maka dibutuhkan suatu alat potong yang lebih canggih dan mudah untuk dioperasikan. Kebutuhan akan alat pemotong saat ini sangat beragam bergantung jenis potongan dan objek yang dikehendaki. Suatu contoh *fixed wing* (sayap pesawat) dan *fulsege* (badan pesawat) rc model membutuhkan suatu alat pemotong berupa kawat panas (hot-wire) yang panjang (Long Hot-wire), agar memudahkan dalam proses pemotongan. Distribusi panas pada Long Hot-wire ini harus merata agar didapatkan hasil pemotongan yang rapi dan uniform. Selain itu dibutuhkan suatu suhu yang stabil agar panas kawat tetap berada pada kisaran suhu optimal untuk mendapatkan hasil pemotongan sesuai dengan yang dikehendaki.

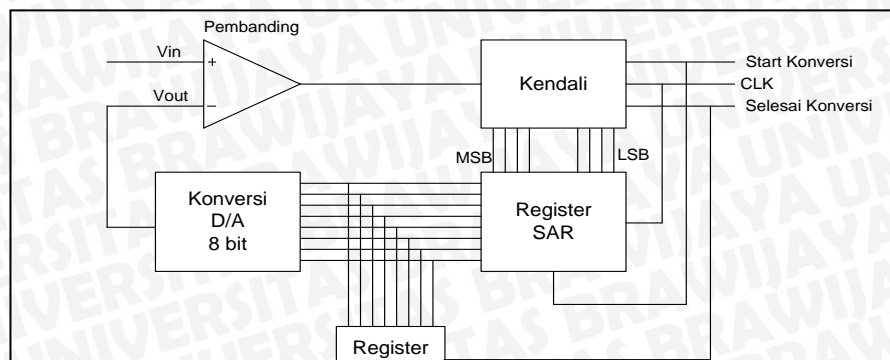
2.3 ADC (*Analog to Digital Converter*)

Analog to Digital Converter atau lebih dikenal dengan ADC adalah sebuah piranti yang dirancang untuk mengubah sinyal-sinyal analog menjadi sinyal -sinyal digital. Karena pada pengontrolan direncanakan berhubungan langsung dengan Mikrokontroller, maka sinyal-sinyal analog khususnya dari rangkaian pengkondisi sinyal harus terlebih dahulu menjadi sinyal digital sehingga dapat dibaca dan diolah oleh Mikrokontroller tersebut. IC ADC 0808 dianggap dapat memenuhi kebutuhan dari rangkaian yang akan dibuat. IC jenis ini bekerja secara cermat dengan menambahkan sedikit komponen sesuai dengan spesifikasi yang

harus diberikan dan dapat mengkonversikan secara cepat suatu masukan tegangan. Hal-hal yang juga perlu diperhatikan dalam penggunaan ADC ini adalah tegangan maksimum yang dapat dikonversikan oleh ADC dari rangkaian pengkondisi sinyal, resolusi, pewaktu eksternal ADC, tipe keluaran, ketepatan dan waktu konversinya. Beberapa karakteristik terpenting pada ADC diantaranya yaitu :

- Waktu konversi : Waktu yang diperlukan oleh ADC untuk menghasilkan suatu kode biner yang tepat untuk tegangan masukan yang diberikan. Sebuah konverter disebut berkecepatan tinggi jika memiliki waktu konversi yang pendek.
- Resolusi : Perubahan terkecil yang terjadi pada keluaran analog sebagai suatu hasil dari perubahan pada masukan digital. Resolusi selalu sama dengan bobot dari LSB atau disebut juga 'step size' karena *step size* merupakan besarnya perubahan tegangan keluaran pada saat kode masukan berubah dari satu *step* ke *step* berikutnya.
- Ketidaklinieran : Simpangan maksimum dari garis lurus yang ditarik melalui titik-titik keluaran yang diharapkan.
- Akurasi : Perbedaan antara tegangan masukan secara ideal yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu kode biner tertentu terhadap tegangan masukan sebenarnya.

Ada banyak cara yang dapat digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital yang nilainya proposional. Jenis ADC yang biasa digunakan dalam perancangan adalah jenis *successive approximation conversion* atau pendekatan bertingkat yang memiliki waktu konversi jauh lebih singkat dan tidak tergantung pada nilai masukan analognya atau sinyal yang akan diubah. Gambar 6.4 memperlihatkan diagram blok ADC tersebut.



Gambar 2.3. Diagram Blok ADC*Sumber : (Malfino,1986 : 344)*

Proses konversi dimulai dengan memberikan pulsa *start*. Akibat pulsa *start* ini, logika kendali akan mereset semua register kontrol, sehingga keluaran register sama dengan 0 dan $V_{out} = 0$ volt. Karena itu $V_{out} < V_{in}$, dan keluaran komparator akan berada pada logika 1. Timbulnya logika 1 ini, maka logika kendali akan mengisikan data konversi dengan coba-coba dimulai dari data MSB (D7) dan kemudian dimasukkan ke register SAR, sehingga data pada register SAR adalah 1000 0000. Keluaran digital ini akan diubah ke dalam bentuk sinyal analog oleh D/A *converter* dan dibandingkan oleh sebuah komparator. Bila nilai konversi ini lebih besar dari V_{in} , keluaran sinyal negatif dari pembanding yang menuju ke rangkaian kendali akan mereset MSB (D7). Jika V_{out} dari konversi kurang dari V_{in} , keluaran positif dari pembanding akan menunjukkan bahwa MSB tetap dalam keadaan tinggi (set).

Jika dalam operasi A/D tersebut nilai MSB tidak direset. Register SAR sekarang menyimpan data 1000 0000. Pulsa detak (CLK) berikutnya akan mereset bit D6 dengan demikian data digital yang ada pada register SAR 1100 0000. Jika V_{out} lebih besar dari V_{in} , keluaran op-amp yang negatif menyebabkan reset dari D6. Jika V_{out} lebih kecil dari V_{in} , D6 tetap bertahan dalam keadaan tinggi (set).

Dalam pulsa-pulsa selanjutnya secara berturut-turut, bit-bit akan diuji. Proses pendekatan ini memerlukan satu periode pulsa clock untuk setiap bit yang merupakan salah satu kelebihan dari *successive approximation* ADC. Jadi jika menggunakan ADC jenis ini dengan 8 bit, maka setiap konversi sinyal diperlukan 8 bit periode pulsa clock. Bilamana suatu bit menyebabkan nilai V_{out} melebihi nilai V_{in} , maka bit yang akan bersangkutan akan direset. Secara singkat prinsip kerja dari konverter A/D adalah semua bit-bit diset kemudian diuji, dan bilamana perlu

sesuai dengan kondisi yang telah ditentukan. Dengan rangkaian yang paling cepat, konversi akan diselesaikan sesudah 8 clock, dan keluaran D/A merupakan nilai analog yang ekuivalen dengan nilai register SAR.

Apabila konversi telah dilaksanakan, rangkaian kembali mengirim sinyal selesai konversi yang berlogika rendah. Sisi turun sinyal ini akan menghasilkan data digital yang ekuivalen ke dalam register buffer. Dengan demikian, keluaran digital akan tetap tersimpan sekalipun akan di mulai siklus konversi yang baru.

ADC 0808 yang dipakai pada rangkaian ini mempunyai kemampuan konversi sebanyak 8 buah input analog secara *multiplexing* dan 8 buah outputan digital. Keistimewaan yang lain adalah mempunyai kecepatan yang tinggi, ketelitian tinggi, dan konsumsi daya rendah (dapat dilihat dalam data sheet).

Fungsi masing-masing pin adalah sebagai berikut :

1. Input Analog

Ada sejumlah 8 input analog yang dapat dikonversi dengan cara *multiplex*, yakni mengatur kombinasi bit pada pin Add A0, A1, A2.

2. *Address* A0, A1, A2

Untuk mengatur pemilihan analog input yang dikonversi, menggunakan pengalamatan pada A0, A1 dan A2 yang sesuai.

3. Clock

Clock tempat memberikan pengaturan keserempakan kerja dalam internal ADC. Dengan kata lain *clock* berfungsi untuk menentukan kecepatan proses dan tergantung berapa besar frekuensi yang masuk ke ADC. Rangkaian pembangkit *clock* dibentuk dari sebuah Schmitt trigger. Untuk menentukan berapa besar frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian schmitt trigger ini dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$f_{\text{count}} = \frac{1}{RC} \quad (2-1)$$

Keterangan :

f_{count} = Frekuensi counter (Hz)

R = Resistor (Ohm)

C = Capacitor (Farad)

4. Ref (+) dan Ref (-)

Tegangan referensi untuk menentukan kenaikan bit keluaran.

5. Output 8 bit

Data output berupa data digital hasil konversi adalah data 8 bit (D0 – D7).

6. ALE (*Address Latch Enable*)

ALE mengunci alamat yang telah diberikan pada Ad A, B, C dengan input analog yang akan dikonversi.

7. Start

Untuk memberitahu agar ADC mulai mengkonversi tegangan inputan analog yang telah dipilih dengan memberikan kombinasi pada 3 bit alamat dan menguncinya dengan ALE. Pin ini aktif tinggi.

8. EOC (*End Of Conversion*)

Pin ini akan memberikan sinyal aktif rendah jika ADC sedang mengkonversi tegangan analog yang diberikan. Pin ini dapat dihubungkan ke suatu port sebagai status atau ke pin interrupt dari processor sebagai tanda pemberitahuan.

9. OE (*Output Enable*)

Setelah EOC memberikan pulsa aktif rendah sejenak maka berarti data siap dibuffer internal ADC, untuk mengambil yang masih ada buffer agar keluar ke data bus perlu memberikan pulsa aktif tinggi pada pin OE.

2.4 Mikrokontroler AVR ATMEGA 328

Secara umum, mikrokontroler berfungsi sama dengan komputer. Bedanya adalah mikrokontroler memiliki desain dalam sebuah *single chip* (IC).

Mikrokontroler terdapat di hampir semua peralatan elektronik di sekeliling kita, didalam tape, TV, radio, telepon genggam (*Hand Phone*) dll. Mikrokontroler memiliki kemampuan yang diperlukan untuk membuat keputusan berdasarkan sinyal dari luar dengan kata lain mikrokontroler merupakan otak dari sebuah perangkat elektronik.

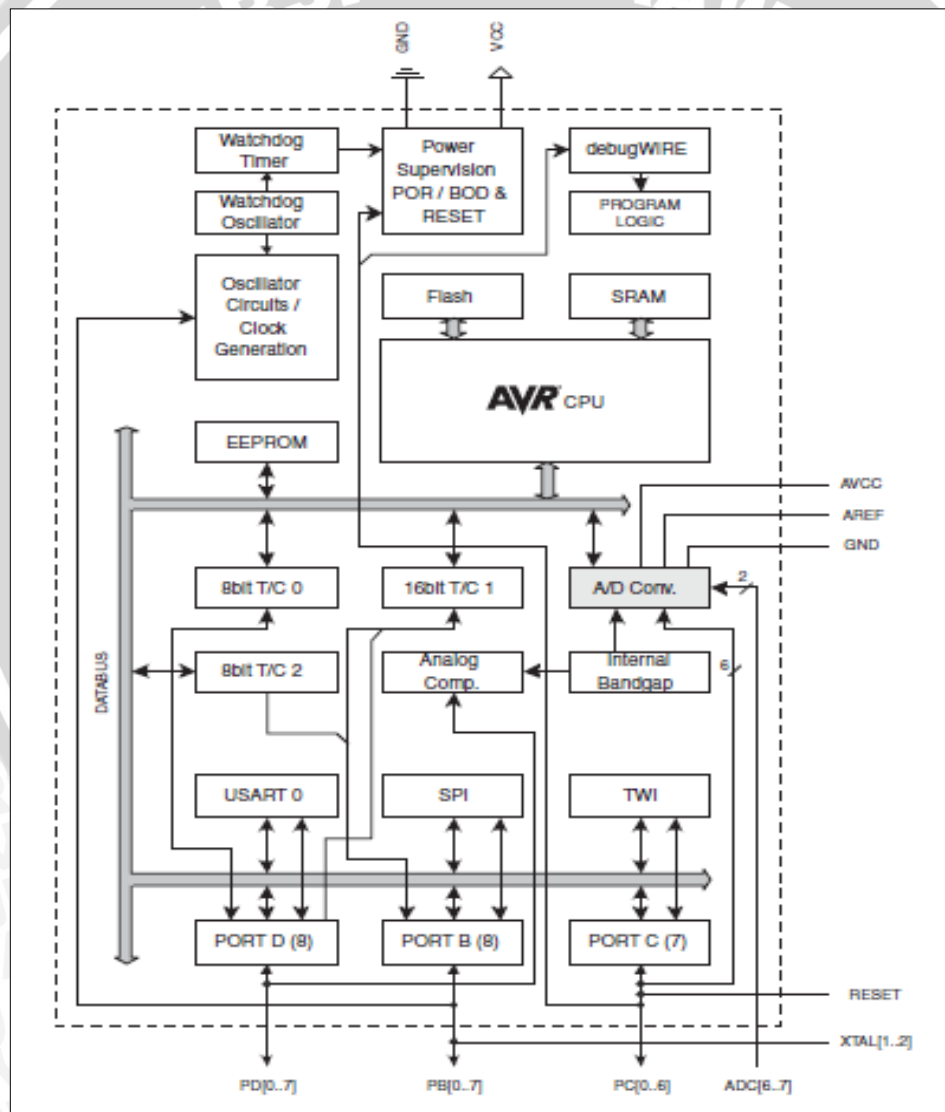
AVR merupakan salah satu jenis mikrokontroler yang didalamnya terdapat berbagai macam fungsi. Perbedaannya dengan mikro yang pada umumnya digunakan MCS 51 adalah pada AVR tidak perlu menggunakan oscilator eksternal karena didalamnya sudah terdapat internal oscillator. Selain itu kelebihan dari AVR adalah memiliki Power-On Reset, yaitu tidak perlu adanya tombol reset dari luar karena cukup hanya dengan mematikan supply, maka secara otomatis AVR akan melakukan reset. Untuk beberapa jenis AVR terdapat beberapa fungsi khusus seperti ADC 10- bit, EEPROM sekitar 1 KBytes sampai dengan 256 KBytes.

Dalam hal ini yang digunakan adalah AVR Atmega328. untuk Atmega 328 hanya dapat bekerja pada tegangan 4,5 V- 5,5 V. Berikut adalah gambar dari blok diagram untuk ATmega 328. Secara umum konfigurasi yang dimiliki mikroontroller ATmega 328 adalah :

- Catu daya 1,8- 5,5V
- 32 Kbytes flash memory
- Programmable serial USART
- 1 KBytes EEPROM
- 2 Kbytes RAM
- Mempunyai temperatur range antara $-40^{\circ}c - 85^{\circ}c$
- Frekuensi maksimum 20 MHz
- In-System Programming by on On- chip Boot
- One 16 bit timer, and Two 8 bit timer
- Built in watchdog timer, PWM 6 channel, SPI, and TWI interface

- On chip analog comparator
- terdiri 8 channel 10 bit ADC
- Internal RC calibrated oscillator
- Built in Real Time Counter with separate oscillator
- 23 programmable I/O
- Package 32 TQFP

Blok diagram ATmega328 ditunjukkan dalam gambar 2.4



Gambar 2.4 Blok Diagram ATmega328

Sumber : Atmel, 2011 : p.5

2.5 Pengkondisi sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal dibentuk berdasarkan hubungan yang linier antara tegangan keluaran dan tegangan masukan rangkaian. Hubungan ini dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan garis lurus, yaitu :

$$V_{OUT} = m \cdot V_{IN} + V_O \quad (2-2)$$

Dengan :

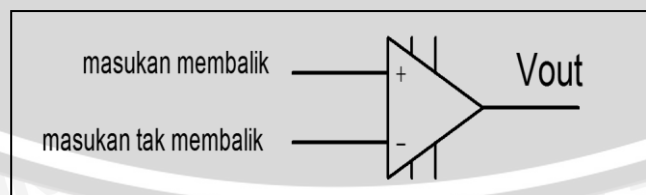
m = kemiringan garis yang menyatakan penguatan

V_O = tegangan offset keluaran

2.5.1 Penguat Operasional

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

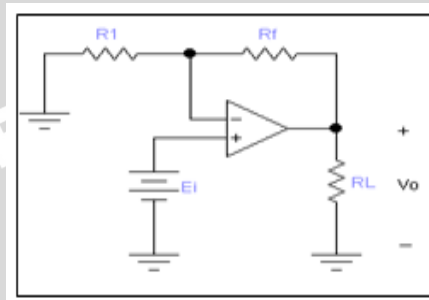
- Impedansi masukan amat tinggi, sehingga arus masukan dapat diabaikan.
- Penguatan tinggi.
- Impedansi keluaran rendah, sehingga keluaran penguat tidak terpengaruh oleh pembebanan.

**Gambar 2.5** Penguat Op-Amp

Sumber : Coughlin, 1982

2.5.2 Penguat Tak Membalik (*Non Inverting Amplifier*)

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



Gambar 2.6 Penguat Tak Membalik

Sumber : *Coughlin, 1982*

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

$$I = \frac{E_i}{R_1} \quad (2-3)$$

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

$$V_{Rf} = I \cdot (R_f) = \frac{R_f}{R_1} \times E_i \quad (2-4)$$

Maka tegangan keluaran V_o adalah

$$V_o = E_i + \frac{R_f}{R_1} \cdot E_i \quad (2-5)$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot E_i \quad (2-6)$$

dengan begitu gain tegangannya yaitu

$$A_{CL} = \frac{V_o}{E_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (2-7)$$

2.6 LCD

Untuk menampilkan menu dari suatu peralatan elektronika seperti catu daya *switching* misalnya tentang berapa tegangan keluaran yang diinginkan, maka diperlukan suatu tampilan. Yang lebih sering digunakan adalah LCD.

Liquid crystal display (LCD) merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menampilkan suatu karakter baik itu angka, huruf atau karakter tertentu, sehingga tampilan tersebut dapat dilihat secara *visual*. Pemakaian LCD sebagai indikator tampilan banyak digunakan disebabkan daya yang dibutuhkan LCD relatif kecil (orde mikrowatt), di samping itu dapat juga menampilkan angka, huruf atau simbol dan karakter tertentu. Meskipun pada komponen ini dibatasi oleh sumber cahaya eksternal/internal, suhu, dan *lifetime*.

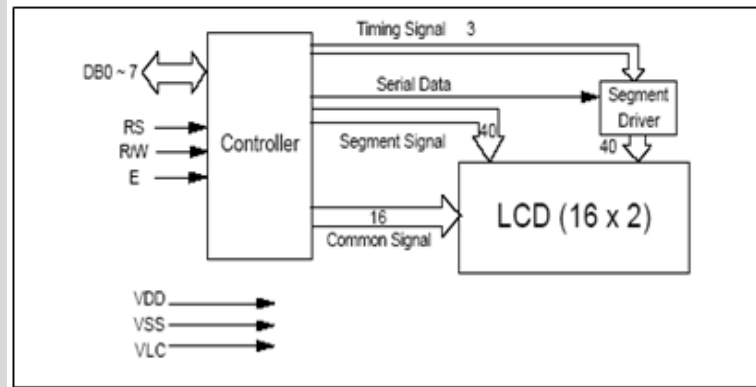
LCD terdiri atas tumpukan tipis atau sel dari dua lembar kaca dengan pinggiran tertutup rapat. Antara dua lembar kaca tersebut diberi bahan kristal cair (*liquid crystal*) yang tembus cahaya. Permukaan luar masing-masing keping kaca mempunyai lapisan tembus cahaya seperti oksida timah (*tin oxide*) atau oksida indium (*indium oxide*). Sel mempunyai ketebalan 1×10^{-5} meter dan diisi dengan kristal cair.

LCD yang digunakan disini untuk menampilkan perintah-perintah dalam tahapan pengisian bahan bakar secara mandiri. LCD yang akan digunakan

bertipe M1632 produksi SEIKO instrument inc. corporation. Spesifikasi dari LCD ini adalah sebagai berikut:

- Menampilkan 16 karakter pada tiap baris TN LCD dengan 5 x 7 dot matrik
- Pembangkit karakter ROM untuk 192 jenis karakter
- Pembangkit karakter RAM untuk 8 jenis karakter
- 80 x 8 bit data RAM
- Tegangan catu 5 volt dan temperatur operasi 0–50°C
- Otomatis reset pada saat dihidupkan

Masukan yang diperlukan untuk mengendalikan modul LCD ini berupa bus data yang masih termultipleks dengan bus alamat serta 3 bit sinyal kontrol, yaitu RS, R/W dan E. Sementara pengendali dot matrix LCD dilakukan secara internal oleh kontroler yang sudah terpasang pada modul LCD. Berikut ini adalah diagram blok dari LCD M1632.



Gambar 2.7 Diagram Blok LCD M1632.

Sumber : Data sheet LCD M1632

Fungsi pin dari LCD M1632 ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Fungsi Pin-Pin pada LCD M1632

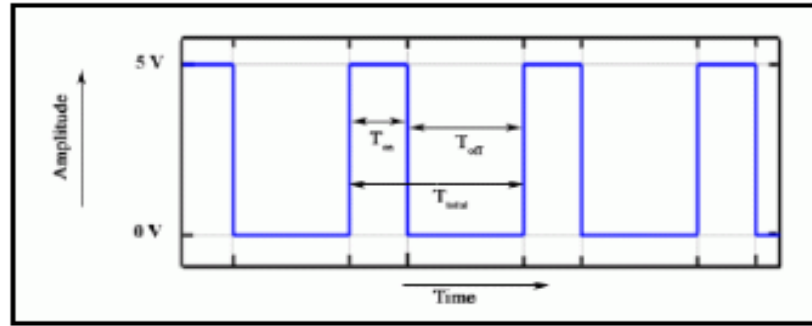
No Pin	Nama Pin	Fungsi
--------	----------	--------

16	V – BL	Sebagai <i>ground</i> dari <i>backlight</i>
15	V + BL	Sebagai kutub positif dari <i>backlight</i>
7 – 14	DB0– DB7	Merupakan saluran data, berisi perintah dan data yang akan ditampilkan.
6	E	Sinyal operasi awal, sinyal ini mengaktifkan data tulis atau baca
5	R/W	Sinyal seleksi tulis atau baca 0 = tulis 1 = baca
4	RS	Sinyal pemilih register 0 = register instruksi (tulis) 1 = register data (tulis dan baca)
3	Vlc	Untuk mengendalikan kecerahan LCD dengan mengubah Vlc
2	Vcc	Tegangan catu + 5 volt
1	Vss	Terminal <i>Ground</i>

Sumber : Datasheet LCD M1632

2.7 PWM (*Pulse Width Modulation*)

Secara umum *Pulse Width Modulation* atau PWM adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal atau tegangan yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, yang akan digunakan untuk mentransfer data pada telekomunikasi atau mengatur tegangan sumber yang konstan untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Penggunaan PWM sangat banyak, antara lain untuk pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban regulator tegangan, mengatur kecepatan dari motor DC dan lain-lain. Sinyal atau keluaran PWM ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8: Sinyal Keluaran PWM

Sumber : D Grahame Holmes , 2003

Dalam Gambar 2.12 terlihat bahwa sinyal PWM adalah sinyal yang amplitudonya tetap, namun lebar pulsa yang aktif (*duty cycle*) per periodenya dapat diubah-ubah. Periodenya adalah waktu pulsa *high* (T_{on}) ditambah waktu pulsa *low* (T_{off}).

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \dots\dots\dots (2.8)$$

Sedangkan *duty cycle* (D) adalah lamanya pulsa high (1) T_{on} dalam satu periode. Jika $f(t)$ adalah sinyal PWM, maka besar *duty cycle*-nya adalah:

$$D = \frac{T_{on}}{(T_{on}+T_{off})} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \dots\dots\dots (2.9)$$

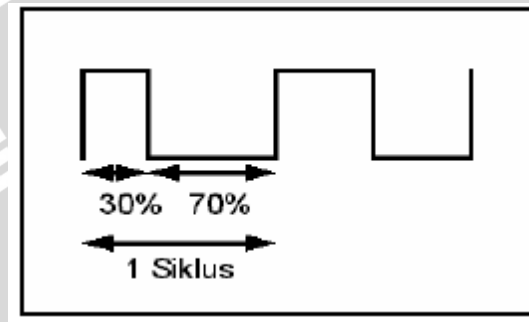
Sedangkan, besarnya tegangan keluaran V_{out} (*volt*) adalah perkalian antara *duty cycle* (D) V_{in} (*volt*) dan :

$$V_{out} = D \times V_{in} \dots\dots\dots (2-10)$$

Jadi,

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \dots\dots\dots (2-11)$$

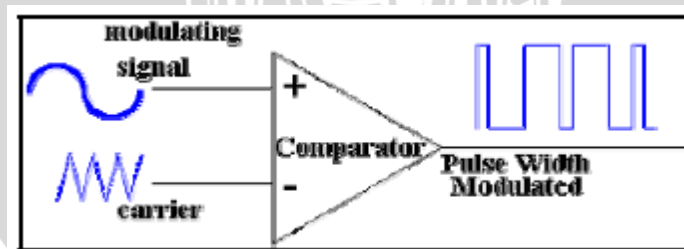
Duty cycle menyatakan fraksi waktu sinyal pada keadaan logika *high* dalam satu siklus. Satu siklus diawali oleh transisi *low to high* dari sinyal dan berakhir pada transisi berikutnya. Selama satu siklus, jika waktu sinyal pada keadaan *high* sama dengan *low* maka dikatakan sinyal mempunyai *duty cycle* 50%. *Duty cycle* 30% menyatakan sinyal berada pada logika 1 selama 30% dari waktu total. Contoh *duty cycle* ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. *Duty Cycle* PWM Sebesar 30%.

Sumber : D Grahame Holmes , 2003

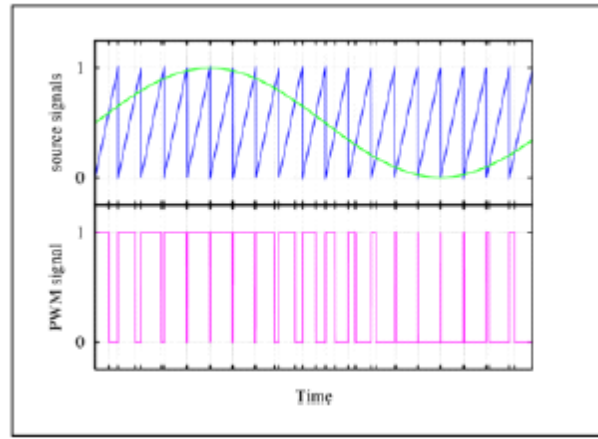
Untuk mendapat sinyal PWM dari masukan berupa sinyal analog, dapat dilakukan dengan membentuk gelombang gigi gergaji atau sinyal segitiga yang diteruskan ke komparator bersama sinyal aslinya. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Cara Mendapatkan Sinyal PWM.

Sumber: D Grahame Holmes , 2003

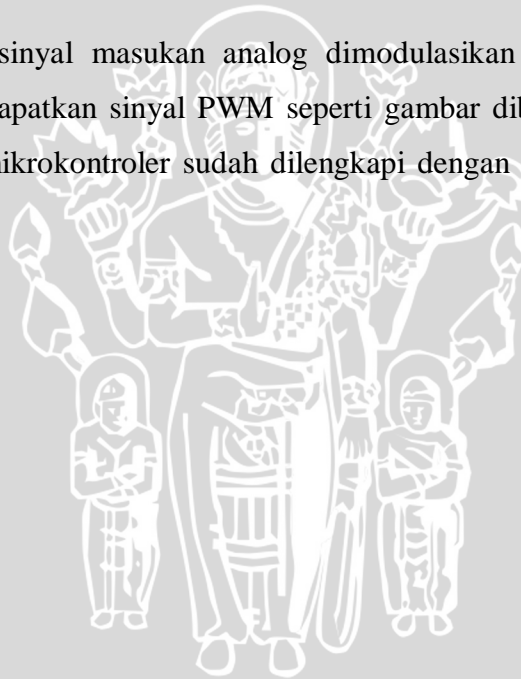
Jika digambarkan dalam bentuk sinyal, maka terlihat seperti pada gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11. Sinyal Sumber yang Dimodulasi dan Sinyal PWM.

Sumber : D Grahame Holmes , 2003

Pada gambar 2.11, sinyal masukan analog dimodulasikan dengan sinyal gigi gergaji, sehingga didapatkan sinyal PWM seperti gambar dibawahnya. Sekarang ini, pada beberapa mikrokontroler sudah dilengkapi dengan fasilitas pembangkit sinyal PWM.



BAB III

METODOLOGI

Kajian dalam skripsi ini merupakan penelitian yang bersifat aplikatif, yaitu pembuatan dan perencanaan alat Long Hot-wire Cutter berbasis Mikrokontroller dan diharapkan performansi alat sesuai dengan yang direncanakan.

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

3.1 Studi Literatur

Studi literatur mengacu pada prinsip kerja alat yang dirancang meliputi sistem pengendalian Long Hot-wire Cutter Styrofoam, adapun variable yang dikendalikan adalah suhu. Sebagai pusat pengendalian operasi sistem adalah Mikrokontroller AVR ATMEGA 328.

Adapun hal-hal yang berhubungan dengan perancangan sistem adalah:

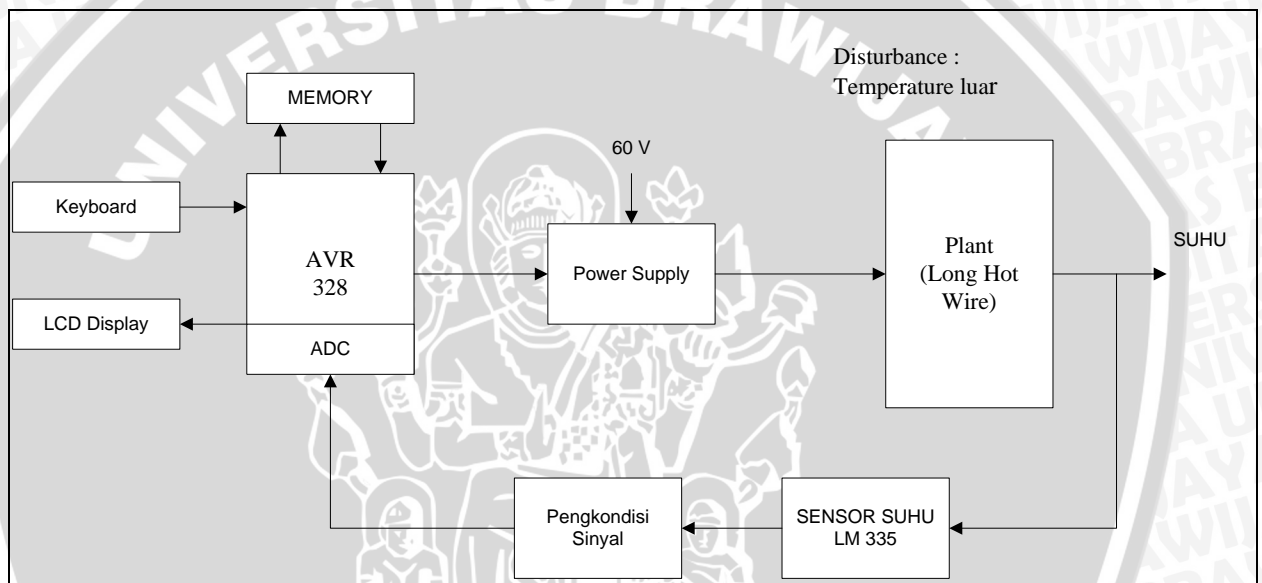
- a. Studi tentang teori dasar styrofoam
 - Karakteristik beragam jenis styrofoam
 - Suhu optimal untuk memotong styrofoam
- b. Studi tentang rangkaian sensor
 - Karakteristik spesifikasi sensor suhu LM335.
 - Penerapan sensor suhu sesuai sistem.
 - Karakteristik komponen elektronik yang digunakan diantaranya meliputi pengkondisi sinyal, relay, LCD, Mikrokontroler ATMEGA 328.

3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik pendukungnya, hal ini dimaksudkan agar sistem pengontrolan suhu pada Long Hot-wire cutter tersebut dapat berjalan sesuai dengan deskripsi awal yang telah direncanakan. Perancangan sistem yang dilakukan meliputi:

- Penentuan dimensi dan bahan yang digunakan dalam pembuatan Long Hot-wire cutter styrofoam.
- Penentuan rangkaian elektronik yang digunakan.
- Penentuan spesifikasi sistem yang akan dibuat, meliputi :
 - a. Penentuan deskripsi kerja sistem secara keseluruhan.
 - b. Mikrokontroler ATMEGA 328 dan rangkaian elektronik pendukung.

3.2.1 Diagram Blok



Gambar 3.1: Blok Diagram Sistem

Sumber: perancangan

Disturbance :

- 1) Temperature luar

3.3 Pengujian Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem Long Hot-wire cutter styrofoam secara keseluruhan telah bekerja sesuai dengan yang telah direncanakan sebelumnya atau tidak. Masing-masing subkomponen diuji dan dirangkai agar dapat menjadi suatu kesatuan sistem yang dapat berjalan sesuai dengan perancangan.

Secara garis besar sistem terdiri dari komponen sebagai berikut :

1. Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan adalah AVR ATMEGA 328 sebagai kontroler suhu Long Hot-wire dengan menggunakan algoritma pengontrolan secara proporsional. Mikrokontroler ini memiliki kelebihan telah disediakan ADC dan PWM secara internal yang akan digunakan dalam perancangan alat dalam skripsi ini.

2. PWM

Untuk mengatur besarnya tegangan yang diberikan kepada Long Hot wire, digunakan metode PWM yang dikendalikan oleh keluaran PWM Mikrokontroler. PWM yang disediakan oleh Mikrokontroler memiliki spesifikasi 8 bit.

3. Plant

Plant merupakan kawat yang terbuat dari nikline memiliki panjang antara 1-2 meter dengan diameter 0,2-0,4 mm. Plant ini akan diatur temperaturnya sesuai dengan kebutuhan pemotongan styrofoam berkisar antara 80°C-95°C.

4. Sensor Suhu

Sebagai sensor suhu digunakan sensor elektronik jenis LM335 yang diletakkan pada Hot wire.

5. Pengkondisi Sinyal

Pengkondisi sinyal berfungsi untuk menyesuaikan tegangan antara yang dihasilkan oleh sensor LM 335 dengan kebutuhan tegangan masukan ADC.

3.4 Pengambilan Kesimpulan

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

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

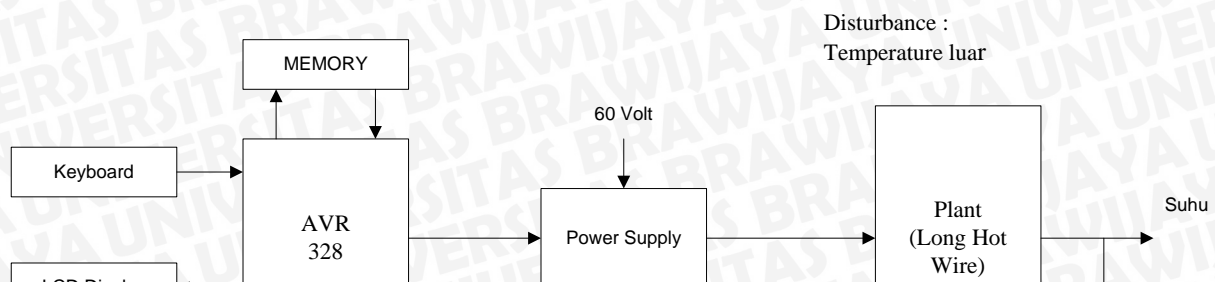
4.1 Perancangan Sistem

Bab ini menjelaskan tentang spesifikasi perancangan perangkat keras alat pengendali temperature Long Hot-wire, yang meliputi diagram blok sistem, *flowchart* (diagram alir) kerja sistem dan diagram blok perancangan alat. Selain perancangan perangkat keras akan dijelaskan juga mengenai perancangan perangkat lunak.

Aspek lain yang akan dijelaskan dalam pembahasan bab ini adalah diagram blok rangkaian, cara kerja rangkaian, dan komponen-komponen pendukung yang digunakan. Adapun sistem keseluruhan secara diagram blok diperlihatkan sebagai berikut:

4.1.1 Diagram Blok Alat

Diagram blok perangkat keras (*Hardware*) yang direncanakan, diperlihatkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem
Sumber : Perancangan

4.1.2 Prinsip Kerja Alat

Untuk menjelaskan prinsip kerja alat seperti yang digambarkan dalam diagram blok sistem gambar 4.1, secara keseluruhan sistem terdiri dari :

6. Mikrokontroler ATMEGA 328
7. PWM
8. Plant
9. Sensor Suhu LM335
10. Pengkondisi Sinyal

4.1.2.1 Mikrokontroler ATMEGA 328

Mikrokontroler yang digunakan adalah AVR ATMEGA 328 sebagai kontroler suhu Long Hot-wire dengan menggunakan algoritma pengontrolan secara proporsional. Mikrokontroler ini memiliki kelebihan telah disediakan ADC dan PWM secara internal yang akan digunakan dalam perancangan alat dalam skripsi ini.

4.1.2.2 PWM Switching

Untuk mengatur besarnya tegangan yang diberikan kepada Long Hot-wire, digunakan metode PWM yang dikendalikan oleh keluaran PWM Mikrokontroler. PWM yang disediakan oleh Mikrokontroler memiliki spesifikasi 8 bit.

4.1.2.3 Plant

Plant merupakan kawat yang terbuat dari nikline memiliki panjang antara 1-2 meter dengan diameter 0,2-0,4 mm. Plant ini akan diatur temperaturnya sesuai dengan kebutuhan pemotongan *styrofoam* berkisar antara 80°C-95°C.

4.1.2.4 Sensor Suhu

Sebagai sensor suhu digunakan sensor elektronik jenis LM335 yang diletakkan pada Long Hot-wire.

4.1.2.5 Pengkondisi Sinyal

Pengkondisi sinyal berfungsi untuk menyesuaikan tegangan antara yang dihasilkan oleh sensor LM335 dengan kebutuhan tegangan masukkan ADC.

4.1.3 Prinsip Kerja Alat Secara Keseluruhan

Alat Long Hot-wire cutter *styrofoam* ini menggunakan pengontrolan suhu berbasis mikrokontroler. Pengontrolan suhu dimaksudkan agar saat pemotongan *styrofoam* didapatkan hasil potong yang rapi dan uniform.

Untuk pengoperasiannya mula-mula alat disetting melalui keypad untuk menentukan suhu yang sesuai berdasarkan jenis *styrofoam* yang akan dipotong. Suhu pemotongan ditentukan oleh operator berdasarkan kebutuhan penggunaan dan jenis *styrofoam*.

Setelah suhu pemotongan ditentukan oleh operator kemudian mikrokontroler membaca suhu dari Long Hot-wire melalui sensor suhu LM335 yang diletakkan pada Long Hot-wire. Hasil keluaran sensor yang berupa beda tegangan kemudian dikonversikan kebilangan diskrit melalui internal ADC pada mikrokontroler. Saat didapatkan hasil keluaran ADC pada internal mikrokontroler, kemudian mikrokontroler menghitung besar error yang merupakan perbedaan antara set point dengan feedback. Besarnya error akan dikalikan dengan besar konstanta proporsional dari controller. Hasil dari perkalian ini akan diumpankan ke PWM internal Mikrokontroler, selanjutnya diperoleh besarnya tegangan yang bersesuaian dengan besarnya lebar pulsa PWM.

Sesuai dengan batasan masalah, Long Hot Wire ini merupakan kawat nikline dengan diameter 0.8mm panjang antara 1-2 m. Besarnya resistansi akan diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R_{hw} = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

R_{hw} = Resistansi hotwire

ρ = hambatan jenis nikelin

$$= 0,4 \Omega \frac{mm^2}{m}$$

l = Panjang kawat nikelin hot wire

$$= 1 - 2 m \text{ (ditentukan oleh perancangan)}$$

D = diameter kawat

$$= 0,2 mm$$

r = jari - jari kawat

$$= 0,1mm$$

Besarnya resistansi kawat pertama dapat dihitung berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

$$R_{hw1} = \rho \frac{l_1}{A_1} \dots\dots\dots(2)$$

$$= \rho \frac{l_1}{\pi r^2}$$

$$= 0,4 \frac{1}{(3,14 \times 0,1^2)}$$

$$= 12,7388535\Omega$$

Dimana :

R_{hw1} = resistansi hot wire 1m

ρ = hambatan jenis kawat nikelin $(0,4 \Omega \frac{mm^2}{m})$

A_1 = luas penampang kawat1(mm^2)



Besarnya resistansi kawat kedua dapat dihitung berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_{hw2} &= \\ \rho \frac{l_2}{A_2} &\dots\dots\dots(3) \\ &= \rho \frac{l_1}{\pi r^2} \\ &= 0,4 \frac{2}{(3,14 \times 0,1^2)} \\ &= 25,47770701 \Omega \end{aligned}$$

Dimana :

R_{hw2} = resistansi hot wire 2

ρ = hambatan jenis kawat nikelin

A_1 = luas penampang kawat 2

Setelah itu resistansi yang diambil adalah resistansi maksimal yaitu 25,47770701Ω.

Berdasarkan dari percobaan, untuk memotong *styrofoam* dengan menggunakan Long Hot-wire ini dibutuhkan arus sebesar antara 1-1,5 A. Dalam perancangan dipilih antara arus 0,5-2,5 A.

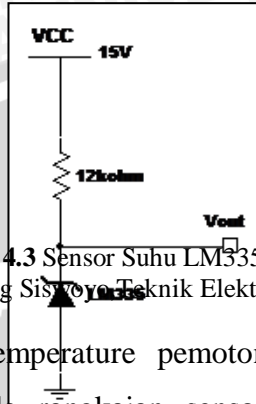
Supply tegangan yang digunakan untuk hot-wire diperoleh dengan menggunakan arus perancangan sebesar 2,5 ampere dengan besarnya resistansi hot-wire sebesar 25,47770701 Ω.

Adapun besarnya tegangan supply yang harus disediakan adalah:

$$\begin{aligned} V &= I \cdot R \\ &= 2,5 \times 25,47770701 \\ &= 63,69426753 \text{ V} \end{aligned}$$

4.2.2 Sensor Suhu LM335

Pada skripsi ini terdapat umpan balik berupa temperatur dengan menggunakan sensor suhu tipe LM335. Adapun rangkaian sensor suhu ini diperlihatkan dalam gambar 4.3 berikut ini:



Gambar 4.3 Sensor Suhu LM335

Sumber : Laporan Tesis Bambang Sisyo, Teknik Elektro Universitas Brawijaya

Sesuai dengan perancangan, temperature pemotongan *styrofoam* berkisar antara 80°C - 95°C . Didasarkan pada rangkaian sensor diatas maka tegangan keluaran sensor untuk kisaran temperature 80° - 95°C adalah :

Tegangan keluaran sensor $V_{\text{out}} = 10\text{mV}/^{\circ}\text{K}$. Dengan demikian tegangan keluarannya adalah:

Suhu 80°C

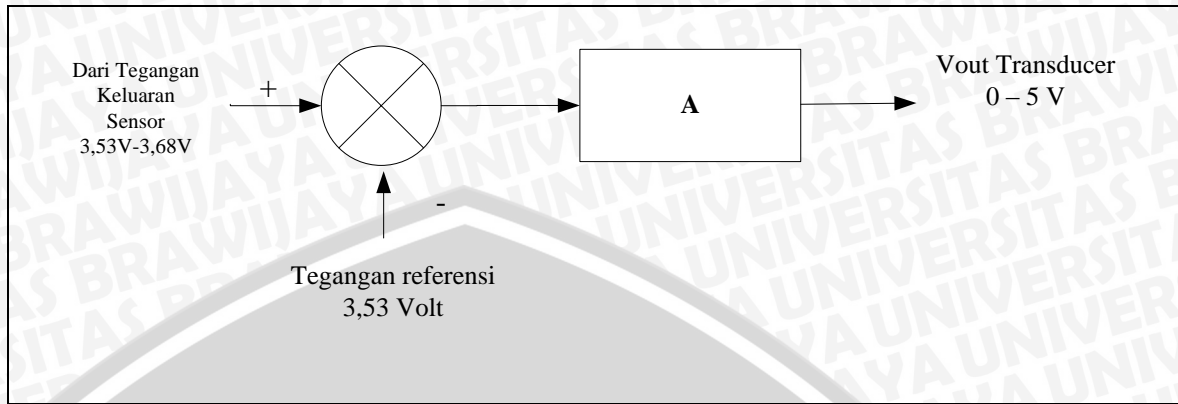
$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 10\text{mV}/^{\circ}\text{K} \times (273+80)^{\circ}\text{K} \\ &= 3,53\text{V} \end{aligned}$$

Suhu 95°C

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 10\text{mV}/^{\circ}\text{K} \times (273+95)^{\circ}\text{K} \\ &= 3,68\text{V} \end{aligned}$$

4.2.3 Pengkondisi Sinyal

Agar pada kisaran temperatur 80°C ... 95°C , tegangan keluarannya berada kisaran 3,53..3,68 volt diperlukan rangkaian pengkondisi sinyal. Karena sensor LM335 pada temperatur 80°C atau 353°K mengeluarkan tegangan sebesar $353^{\circ}\text{K} \times 10\text{mV}/^{\circ}\text{K} = 3530 \text{ mV} = 3,53 \text{ volt}$, terlebih dahulu tegangan keluaran sensor ini dikurangi dengan tegangan sebesar 3,53 volt, kemudian dilakukan penguatan sehingga tegangan keluaran maksimum menjadi 5 volt. Secara blok pengkondisi sinyal ini diperlihatkan dalam Gambar 4.4



Gambar 4.4 : Blok Diagram Pengkondisi Sinyal
Sumber : perancangan

Dari Gambar 4.3 diperoleh besarnya penguatan A sebesar:

$$A = \frac{5}{(3,68 - 3,53)} = 33,3$$

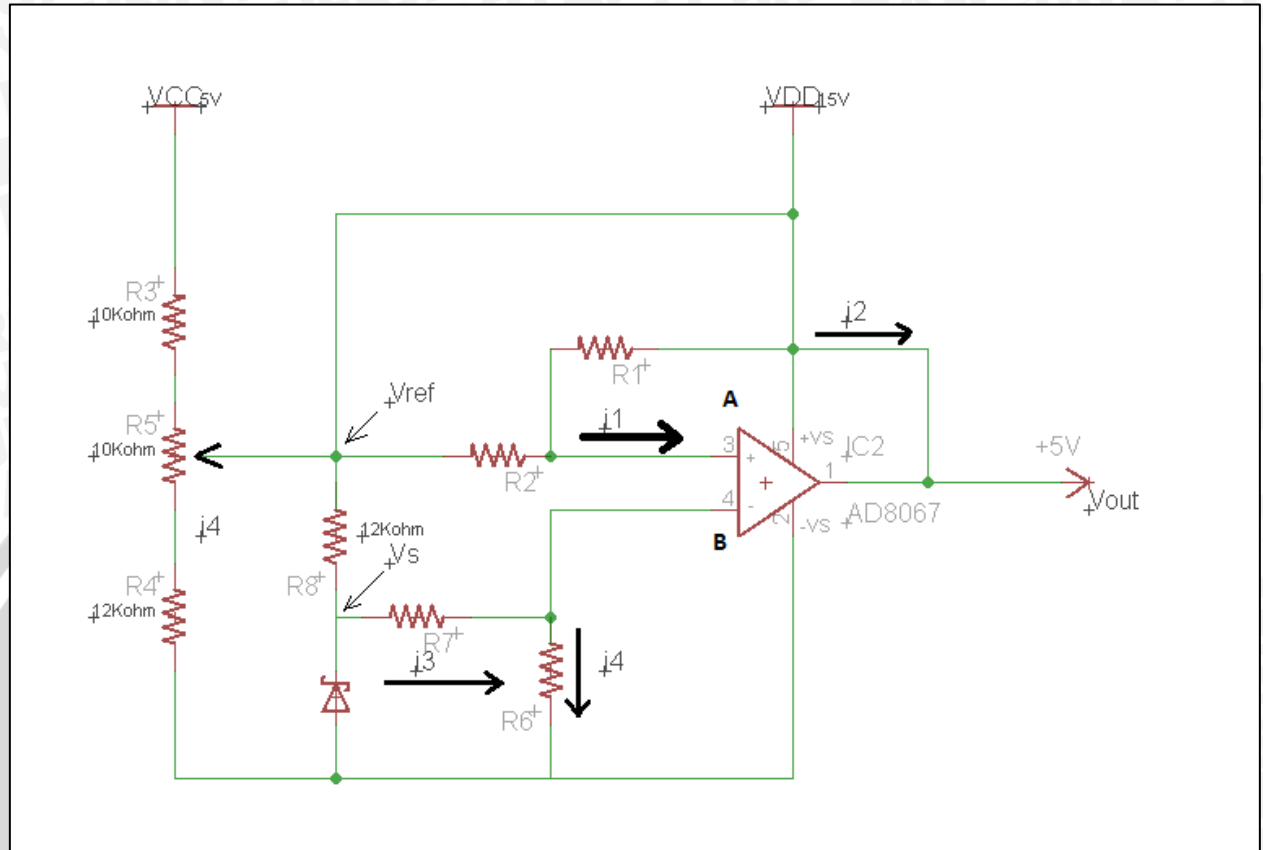
Dengan demikian persamaan V_{out} pengkondisi sinyal ini adalah:

$$V_{out} = (V_{in} - 3,53) \times 33,3 \text{ Volt}$$

$$V_{out} = 33 \cdot V_{in} -$$

$$117,549 \text{ Volt} \dots \dots \dots (4)$$

Kemudian dari persamaan (4) tersebut, jika diwujudkan dalam rangkaian penguat operasi diperlihatkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 : Rangkaian pengkondisi sinyal sensor temperatur LM335

Sumber : Perancangan

Rangkaian pengkondisi sinyal sensor temperatur LM335 seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 4.5, menggunakan komponen penguat operasi tipe LM3358. Analisis rangkaian tersebut adalah:

$$i_1 = i_2$$

$$\frac{V_{ref} - V_A}{R_2} = \frac{V_A - V_{out}}{R_1}$$

$$V_{ref} R_1 - V_A R_1 = V_A R_2 - V_{out} R_2$$

$$V_A R_2 + V_A R_1 = V_{ref} R_1 + V_{out} R_2$$

$$V_A = \frac{V_{ref} R_1 + V_{out} R_2}{R_1 + R_2}$$

(4)

$$i_3 = i_4$$

$$\frac{V_S - V_B}{R_7} = \frac{V_B - 0}{R_6}$$

$$V_S R_6 - V_B R_6 = V_B R_7$$

$$V_B R_6 + V_B R_7 = V_S R_6$$

$$V_B = \frac{V_S R_6}{R_6 + R_7}$$

.....(5)

Karena $V_A = V_B$, maka persamaan (4) sama dengan persamaan (5).

$$\frac{V_{ref} R_1 + V_{out} R_2}{R_1 + R_2} = \frac{V_S R_6}{R_6 + R_7}$$

$$(V_{ref} R_1 + V_{out} R_2)(R_6 + R_7) = V_S R_6 (R_1 + R_2)$$

$$V_{ref} R_1 (R_6 + R_7) + V_{out} R_2 (R_6 + R_7) = V_S R_6 (R_1 + R_2)$$

$$V_{out} R_2 (R_6 + R_7) = V_S R_6 (R_1 + R_2) - V_{ref} R_1 (R_6 + R_7)$$

$$V_{out} = \frac{V_S R_6 (R_1 + R_2) - V_{ref} R_1 (R_6 + R_7)}{R_2 (R_6 + R_7)}$$

(6)

Dalam perancangan besarnya $R_2 = R_7$ dan $R_1 = R_6$, maka persamaan (6) dapat dituliskan kembali menjadi:

$$V_{out} = \frac{V_s R_1 (R_1 + R_2) - V_{ref} R_1 (R_1 + R_2)}{R_2 (R_1 + R_2)}$$

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_2} V_s - \frac{R_1}{R_2} V_{ref}$$

Agar besarnya penguatan $\frac{R_2}{R_1} = 33$ dipilih besarnya $R_1 = 30k\Omega$ dan $R_2 = 1M\Omega$.

Sehingga besarnya tegangan keluaran pengkondisi sinyal menjadi:

$$V_{out} = \frac{1M}{30K} V_s - \frac{1M}{30K} V_{ref}$$

Karena besarnya $V_{ref} = 3,53\text{volt}$, tegangan keluaran pengkondisi sinyal adalah:

$$V_{out} = 33,3 \cdot V_s - 117,549\text{volt}$$

Dengan menggunakan penguatan sebesar 33,3 maka daerah operasi temperatur akan menjadi : Pada $V_{out}(\text{min}) = 0\text{ volt}$, $V_s = \frac{117,549}{33,3}\text{volt} = 3,53V = 3530mV$

Karena resolusi sensor temperatur LM335 sebesar $10mV/^{\circ}K$, maka temperaturnya adalah :

$$\frac{3530\text{ mV}}{10\text{ mV}/^{\circ}K} = 353\text{ }^{\circ}K = 80\text{ }^{\circ}C$$

Sedangkan pada :

$$V_{out}(\text{mak}) = 5\text{ volt}$$

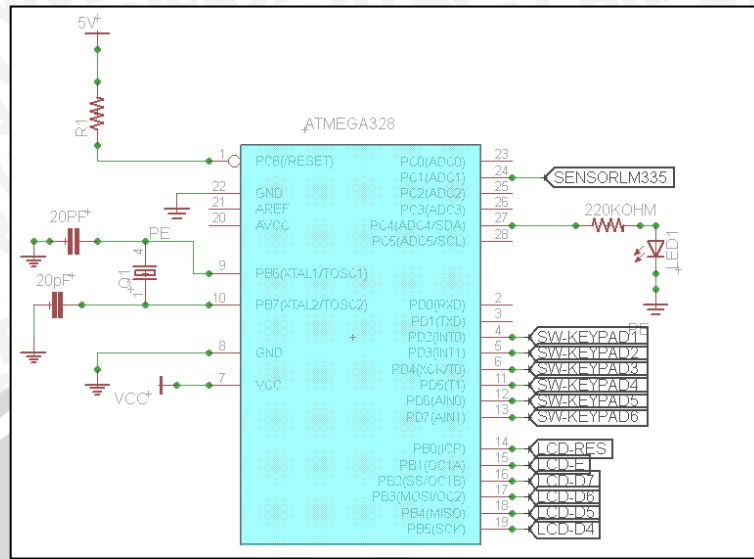
$$V_s = \frac{5 + 117,549}{33,3} = 3,680\text{ volt} = 3680mV$$

Maka temperaturnya adalah :

$$\frac{3680mV}{10mV/^{\circ}K} = 3681\text{ }^{\circ}K = 95\text{ }^{\circ}C$$

Jadi transducer temperatur dengan menggunakan sensor temperatur LM335 dan pengkondisi sinyal LM3358 beroperasi pada kisaran temperatur $80^{\circ}C$ sampai $95^{\circ}C$

4.2.4 Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA 328



Gambar 4.6 : Rangkaian perencanaan mikrokontroler ATMEGA328

Sumber: Perancangan

1. Port B

Port B0- PortB5 merupakan port yang terletak pada pin 14-19, dalam perancangan ini PB0-.PB5 digunakan sebagai inputan LCD M1632.

2. Port D

Port D disediakan sebagai port I/O dan menempati pin , dalam perancangan ini PD-PD7 digunakan sebagai saluran keypad.

3. Port C

Port 2 disediakan sebagai port I/O dan menempati pin 21-28, dalam perancangannya memiliki fungsi sebagai berikut :

- PC1 sebagai inputan ke ADC1 yaitu sensor suhu LM335

4. XTAL1 dan XTAL2

Digunakan sebagai input dari rangkaian osilator kristal. Rangkaian osilator kristal terdiri dari kristal osilator 16 MHz, kapasitor C1 dan C2 yang masing-

masing bernilai 20 pF, akan membangkitkan pulsa *clock* yang menjadi penggerak bagi seluruh operasi internal mikrokontroler.

5. VCC

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

6. GND

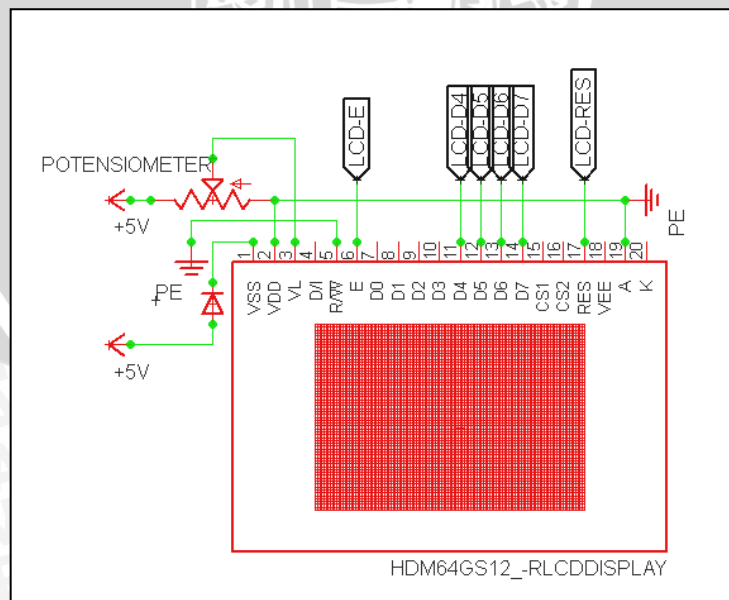
GND dihubungkan ke *ground* catu daya.

7. Reset

Digunakan untuk mereset program kontrol mikrokontroler.

4.2.5 Rangkaian LCD M1632

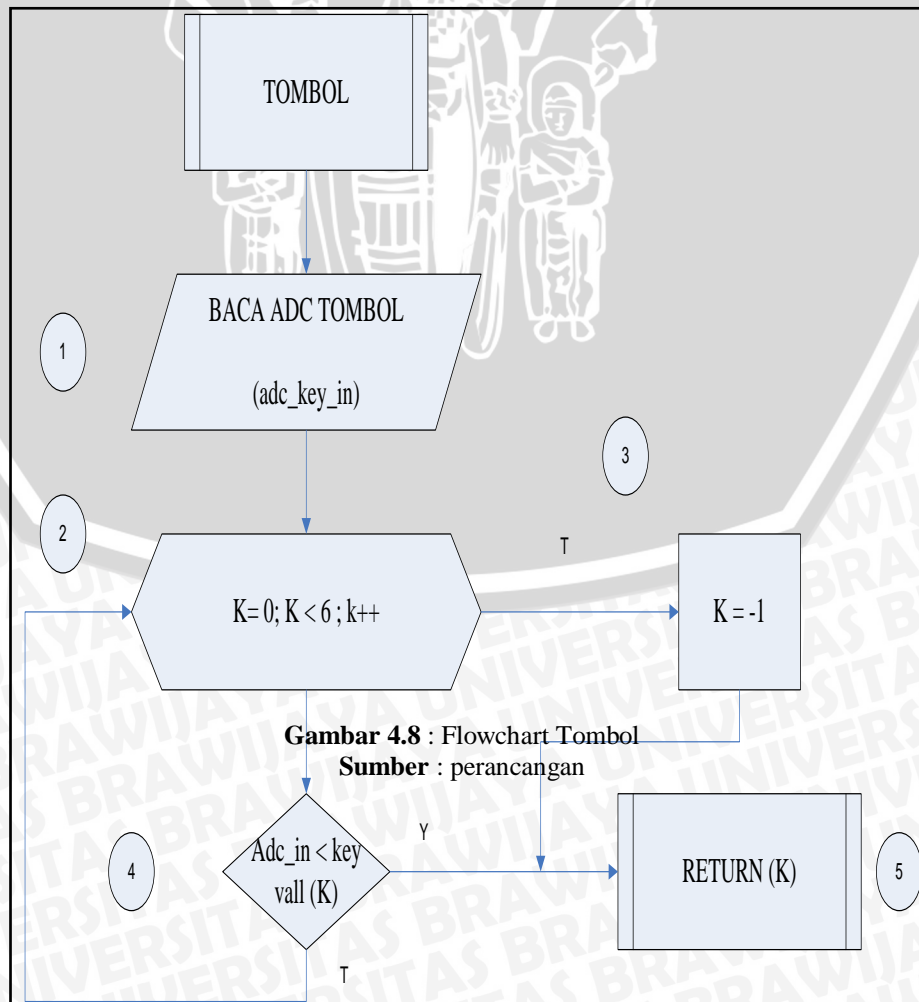
LCD yang digunakan adalah tipe LCD M1632 (yang memiliki 2 baris x 16 kolom). Bus data LCD (D4-D7) terhubung dengan port mikrokontroler (P16-P19). Karena LCD hanya menerima data, maka pin R/W dihubungkan dengan ground. RS dihubungkan dengan pin 14 dari mikrokontroler, sedangkan untuk mengaktifkan E (*enable*) LCD dibutuhkan keluaran dari pin 15. Untuk mengatur tingkat kecerahan LCD digunakan resistor variabel 1 k Ω . Gambar LCD dan konfigurasi pinn dapat dilihat dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7: Konfigurasi Pin LCD Display
Sumber : Perancangan

4.2.6 Rangkaian Tombol

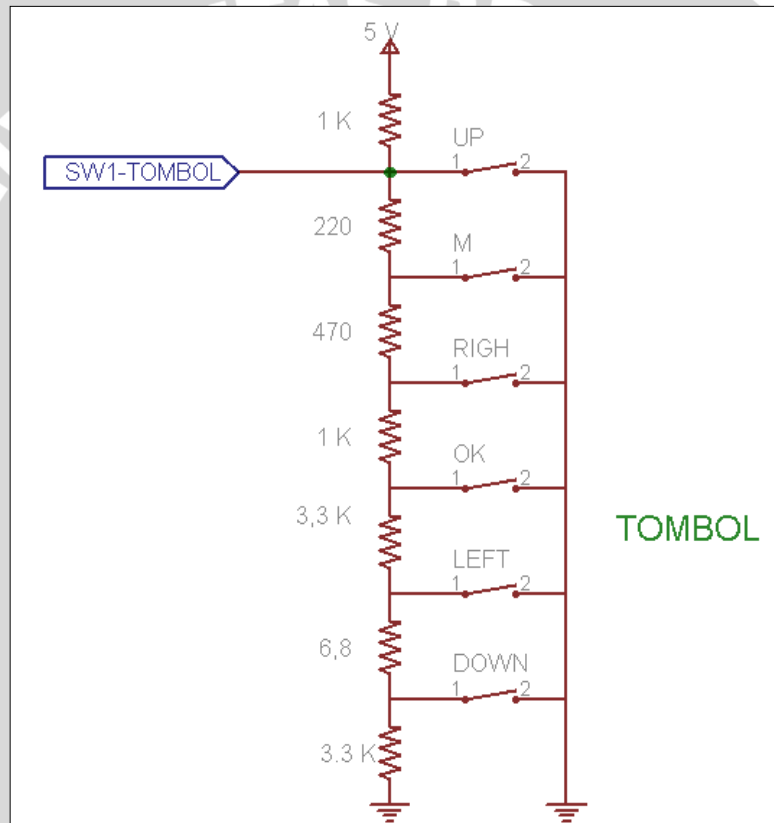
Pembuatan keypad, disini dimaksudkan untuk memberikan inputan dari konsumen. Scanning tombol yang dilakukan oleh Mikrokontroller ATmega328 harus mampu menentukan posisi dari tombol yang ditekan. Setelah posisi keypad yang aktif dapat ditemukan maka data tersebut diolah menjadi data data tombol yang ditekan.



Gambar 4.8 : Flowchart Tombol
Sumber : perancangan

Tombol yang digunakan dalam aplikasi ini adalah tombol analog Berisikan tombol untuk arah bawah, atas, kiri, kanan, MENU, OK, ON/OFF. Untuk mengenali bagian kolom dan baris yang aktif maka tombol ini dihubungkan dengan minimum sistem ATmega328.

Berikut ini gambar perancangan tombol analog



Gambar 4.9 Rangkaian Perencanaan tombol
 Sumber : Perancangan

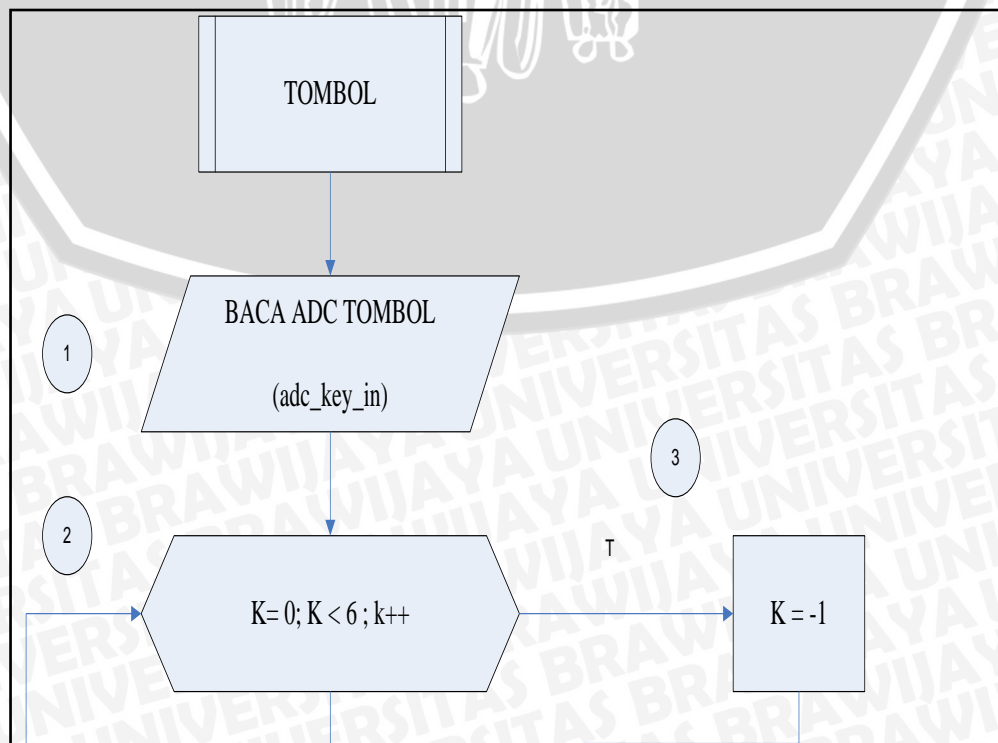
4.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada sistem pengendalian long hot wire cutting styrofoam berbasis mikrokontroler ini menggunakan bahasa pemrograman C. Pada bagian ini dibahas tentang diagram alir (flowchart)

yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini, terdiri dari satu program utama dan dua program subrutin. Program utama diperlihatkan dalam Gambar 4.10 dan subrutin diperlihatkan dalam Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.

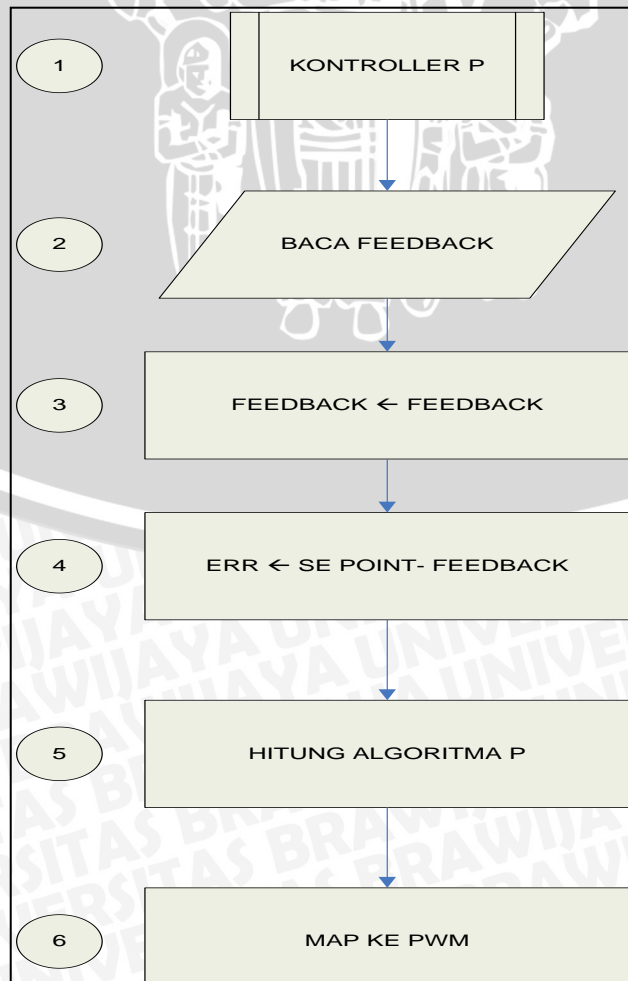


Gambar 4.10 : Flowchart Program Utama
Sumber : Perancangan



Gambar 4.11 : Flowchart Program Subrutin Keypad

Sumber : Perancangan



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 4.12 : Flowchart Program Subrutin Kontroller
Sumber : perancangan

Adapun penjelasan flowchat adalah sebagai berikut :

4.3.1 Program Utama

1. Inisialiasasi
Inisialiasasi ini berfungsi untuk menginisialisasi LCD, PWM kontroller dimatikan, setpoint diset pada default sebesar 1,25 A
.
2. Keypad
Keypad merupakan subrutin untuk menscan penekanan tombol yang terdiri dari 6 tombol yaitu UP, down, righ, left, start-stop / ok, menu.
3. Start - stop/ OK
Berfungsi untuk mengecek adanya penekanan tombol yang dihasilkan oleh subrutin keypad.
4. Toggle_ON=(toggle_ON)

Merupakan flag bersifat toggle untuk menyimpan kondisi kontroller saat ini, kondisi kontroller hidup jika toggle ON = 1 sebaliknya jika kontroller ON= 0 mati.

5. Toggle_ON =1
Digunakan untuk menguji kondisi flag toggle ON apakah berlogika 1, jika ya menuju ke NO 6 jika tidak menuju ke NO 12
6. Set point
Berfungsi untuk menset variabel set poin = 1,25A.
7. Kontroller P
Merupakan subrutin digunakan untuk memproses algoritma kontrooler P. ini memanggil subrutin yang memiliki algoritma sendiri.
8. Tombol up ditekan
Berfungsi untuk menguji apakah tombol UP ditekan , jika iya menuju ke NO 11 jika tidak akan menuju NO 9
9. Tombol down ditekan
Berfungsi untuk menguji apakah tombol DOWN ditekan, jika iya menuju ke NO10 jika tidak akan menuju NO 2 sehingga akan membaca keypad lagi
10. Turunkan set_point
Berfungsi untuk menurunkan nilai yang ada divariabel set-point.
11. Naikkan set_point
Berfungsi untuk menaikkan nilai yang ada divariabel set-point.
12. Matikan kontroller
Berfungsi untuk mematikan kontroller.

4.3.2 Program subrutin kontroller

- 1 Kontroler P
Merupakan algoritma kontroller secara P.
- 2 Baca feedback
Berfungsi untuk membaca sensor dari Plan berupa arus hand-tool.
- 3 Err \leftarrow set point – feed back
Menghitung besarnya error dihitung berdasarkan pengurangan set point dengan feedback.
- 4 Hitung algoritma P
Merupakan perhitungan algoritma kontroller P, dimana hasil error dikalikan dengan konstanta P kemudian dikeluarkan ke PWM.
- 5 MAP ke PWM
Memproporsionalkan nilai rasio yang dihasilkan oleh kontrooler ke PWM
- 6 Aktifkan PWM
Berfungsi untuk mengaktifkan PWM
- 7 Return
Kembali ke subrutin

4.3.3 Program subrutin Tombol

- 1 Baca ADC Tombol (adc_key_in)
Membaca tegangan analog dari rangkaian tombol dalm gambar 4.11 diubah menjadi nilai desimal melalui ADC.
- 2 $K = 0 ; K < 6 ; k++$
Mengubah loop dengan variable $K = 0$ sampai $K = 5$ ini bertujuan untuk mengecek apakah salah satu tombol dari 6 tombol ditekan.
- 3 $K = -1$
Jika loop dari point 2 diatas dilampui yaitu $K = 6$ maka nilai $K = -1$ sebagai tanda tombol tidak ada yang ditekan.

- 4 `Adc_key_in < adc_key val (k)`
 menghubungkan nilai decimal hasil konversi ada pada point 1 dengan
 nilai desimal komparasi
- 5 `Return`
 kembali ke pemanggil program dari 6 tombol.



BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

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

- Pengujian rangkaian sensor suhu LM335
- Pengujian LCD
- Pengujian ADC
- Pengujian Mikrokontroler AVR Atmega 328
- Pengujian keseluruhan sistem

5.1 Pengujian Rangkain Sensor Suhu

5.1.1 Tujuan Pengujian :

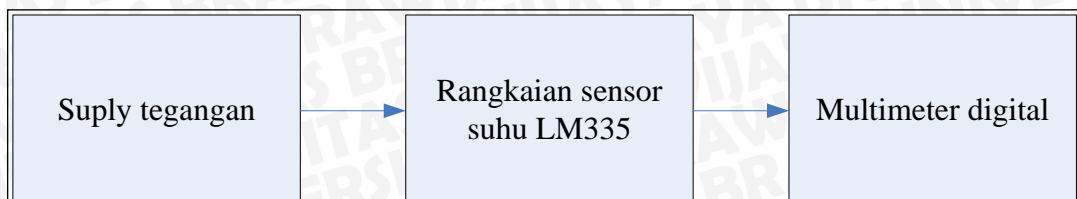
Untuk mengetahui hubungan antara besarnya tegangan keluaran dari pengkondisi sinyal dengan besarnya temperature pada sensor.

5.1.2 Peralatan yang digunakan :

1. Multimeter Digital.
2. Rangkaian yang akan diuji
3. Catu Daya 5 Volt DC

5.1.3 Prosedur Pengujian

1. Merangkai rangkaian seperti gambar dibawah ini



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 5.1 : Blok Diagram Pengujian Rangkaian Sensor Suhu

Sumber : Perancangan

2. Memberikan suatu kondisi suhu dengan range 80°C – 95°C untuk mendapatkan besar tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian sensor suhu.
3. Besarnya tegangan pada keluaran sensor yang terbaca pada voltmeter dicatat untuk setiap besarnya temperature yang diinginkan.
4. Menghitung besarnya tegangan yang diberikan sensor secara teori.

5.1.4 Hasil dan Analisis Pengujian

Dalam pengujian sensor temperature LM335 ini, prosedurnya adalah sebagai berikut : mula-mula sensor temperatur dicelupkan ke dalam air panas pada suhu yang telah diset berdasarkan spesifikasi alat yaitu 80°C – 95°C. Setelah itu tegangan keluaran sensor diukur dengan menggunakan multimeter. Setelah itu tegangan yang dibaca oleh multimeter dicatat dan dibandingkan dengan tegangan yang didapat dari hasil pengukuran.

$$\Delta V = |V_{out} (\text{pengukuran}) - V_{out} (\text{perhitungan})|$$

$$\Delta\% = \left| \frac{V_{out} (\text{pengukuran}) - V_{out} (\text{perhitungan})}{V_{out} \text{ pengukuran}} \right| \times 100\%$$

$$\text{Kesalahan_rata - rata} = \left| \frac{\sum \Delta\%}{\sum \text{pengukuran}} \right|$$

Untuk mendapatkan tegangan pengukuran adalah dengan persamaan sebagai berikut :

Suhu 95°C

$$\begin{aligned} V_{\text{sensor}} &= 10\text{mV}/^\circ\text{K} \times (273+95)^\circ\text{K} \\ &= 3,68\text{V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 33,3 \cdot V_{\text{sensor}} - 117,549 \\ &= 33,3 \cdot 3,68 - 117,549 \\ &= 4,995 \text{ volt} \end{aligned}$$

Suhu 90°C

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 10\text{mV}/^\circ\text{K} \times (273+90)^\circ\text{K} \\ &= 3,63\text{V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 33,3 \cdot V_{\text{sensor}} - 117,549 \\ &= 33,3 \cdot 3,63 - 117,549 \\ &= 3,33 \text{ volt} \end{aligned}$$

Suhu 85°C

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 10\text{mV}/^\circ\text{K} \times (273+85)^\circ\text{K} \\ &= 3,58\text{V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 33,3 \cdot V_{\text{sensor}} - 117,549 \\ &= 33,3 \cdot 3,58 - 117,549 \\ &= 1,665 \text{ V} \end{aligned}$$

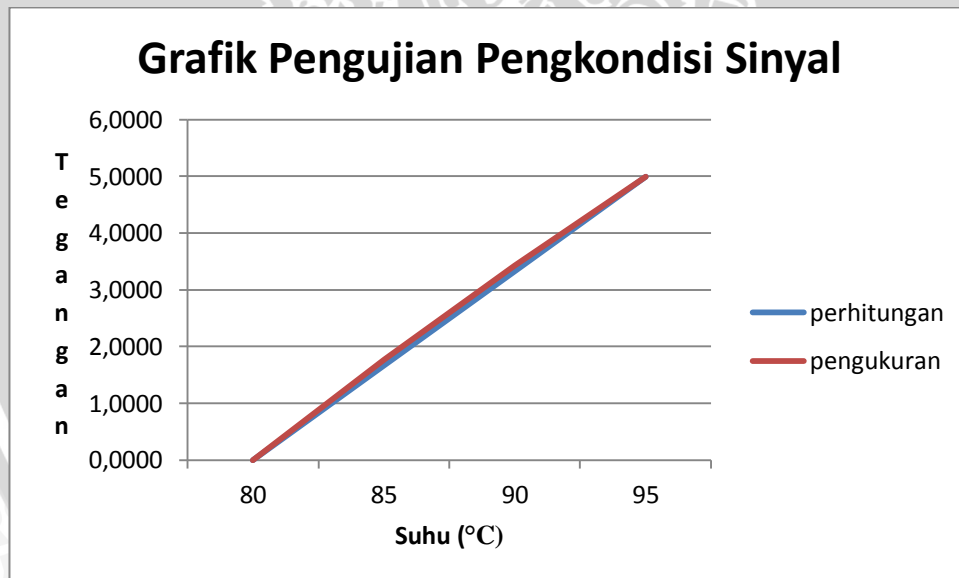
Suhu 80°C

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 10\text{mV}/^\circ\text{K} \times (273+80)^\circ\text{K} \\ &= 3,53\text{V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 33,3 \cdot V_{\text{sensor}} - 117,549 \\ &= 33,3 \cdot 3,53 - 117,549 \\ &= 0 \text{ V} \end{aligned}$$

Tabel 5.1 Hasil Pengukuran dan Pengujian sensor suhu

NO.	Suhu (°C)	V out		Δv	Δ%
		Perhitungan	Pengukuran		
1	95	4,995	4,998	0,003	0,06
2	90	3,33	3,335	0,005	0,14
3	85	1,655	1,657	0,02	0,12
Kesalahan rata-rata				0,1093 %	



Gambar 5.2 : Grafik Pengujian Pengkondisi Sinyal

Sumber : Perancangan

5.2 Pengujian ADC

5.2.1 Tujuan Pengujian :

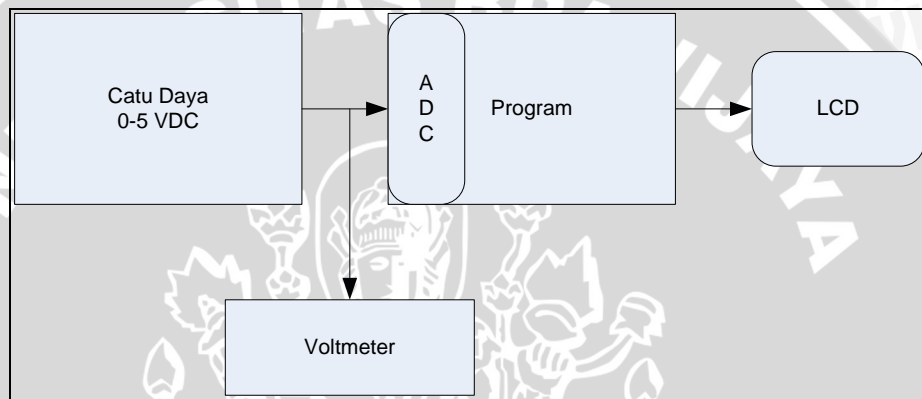
Untuk mengetahui cara kerja dari rangkaian ADC, apakah sesuai dengan yang direncanakan atau belum maka dilakukan pengujian.

5.2.2 Peralatan yang digunakan :

1. ADC internal mikrokontroler AVR 328
2. Sumber tegangan 0-5 volt
3. potensiometer
4. LCD

5.2.3 Prosedur Pengujian :

1. Merangkai rangkaian seperti gambar di bawah ini :



Gambar 5.3: Blok Diagram Pengujian ADC

Sumber: Perancangan

2. Memberi catu daya 0-5 V di ADC internal Mikrokontroler ATmega 328
3. Mengukur tegangan dengan Volt meter yang masuk ke ADC internal
4. Pengujian

5.2.4 Hasil dan Analisis Pengujian :

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

Diketahui : $V = 5$ Volt; $V_{\text{in}} = 1$ V; $\text{Step ADC} = 2^{10} (1024)$,
maka

$$= \frac{1}{5} \times 1024 = 204,8 \text{ V}$$

Tabel 5.2 Hasil Pengujian ADC internal mikrokontroler AVR ATmega 328

Input Tegangan (Vin)	LCD
0	0
1	204,8
1,5	307,2
2	409,6
2,5	512
3	614,4
3,5	716,8
4	819,2
4,5	921,6
5	1024

5.3 Pengujian LCD

5.3.1 Tujuan Pengujian :

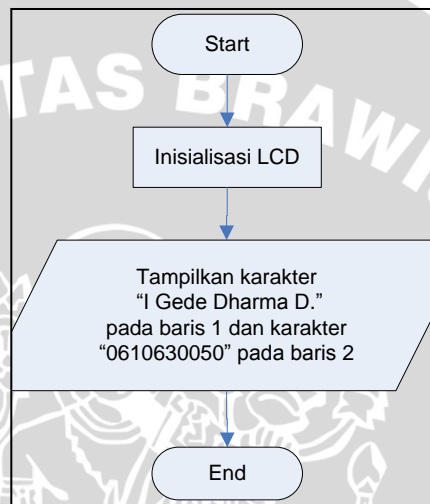
Pengujian LCD bertujuan untuk mengetahui LCD masih dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan program yang diberikan oleh mikrokontroler.

5.3.2 Peralatan yang digunakan :

1. Mikrokontroler
2. LCD
3. Catu Daya 5 V

5.3.3 Prosedur Pengujian :

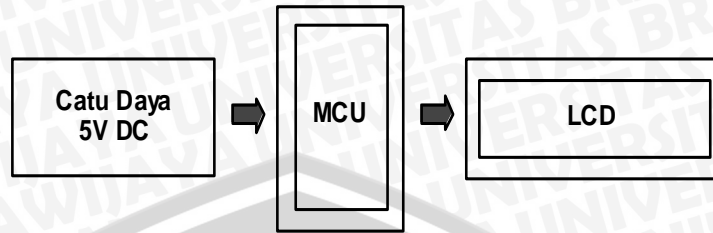
- 1 Membuat program pada mikrokontroler dengan menggunakan bahasa C untuk menampilkan data karakter jurusan “I Gede Dharma D.” pada baris pertama dan nim “0610630050” pada baris kedua di LCD. Diagram alir program pada mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Diagram alir program pada Mikrokontroler

Sumber: Perancangan

- 2 Menyusun rangkaian pengujian mikrokontroler dan LCD seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.4.
- 3 Memastikan rangkaian sudah tersusun dengan benar sebelum terhubung ke catu daya.
- 4 Menghubungkan catu daya ke rangkaian pengujian.
- 5 Melihat data karakter yang ditampilkan di LCD.



Gambar 5.5. Blok diagram pengujian Mikrokontroler dan LCD

Sumber: Perancangan

5.3.4 Hasil dan Analisis Pengujian :

Data karakter yang diprogram pada mikrokontroler dapat ditampilkan dengan baik pada LCD, dibuktikan dengan ditampilkannya karakter nama dan nim seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Gambar Tampilan LCD Pada Alat

Sumber: Perancangan

5.4 Pengujian Mikrokontroler AVR ATmega 328

5.4.1 Tujuan Pengujian :

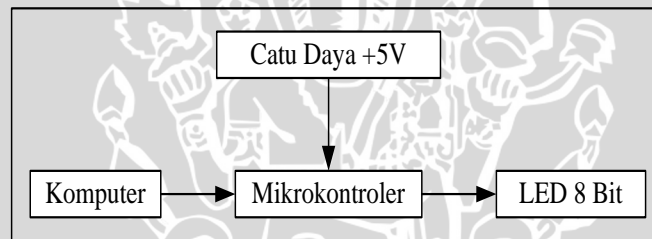
Pengujian mikrokontroler bertujuan untuk mengetahui kondisi awal dari sistem mikrokontroler agar sesuai dengan yang diharapkan

5.4.2 Peralatan yang digunakan :

1. Komputer dengan kabel penghubungnya
2. Minimum sistem mikrokontroler AVR ATmega 328
3. Lampu LED mewakili keluaran 8 bit
4. Catu daya +5 volt

5.4.3 Prosedur Pengujian :

1. Merangkai peralatan seperti dalam Gambar 5.7 keluaran terhubung dengan lampu LED yang mewakili keluaran 8 bit.



Gambar 5.7 Diagram Blok Pengujian Mikrokontroler

Sumber: Perancangan

2. Mengisi mikrokontroler dengan program sederhana yang meletakkan 0FH dan F0H pada Accumulator secara bergantian kemudian memindahkannya ke port 1. kemudian download pada mikrokontroler AVR Atmega 328.
3. mengaktifkan catu daya.
4. mereset program untuk mengeluarkan data mikrokontroler.
5. mencatat data keluaran yang diwakili oleh lampu LED 8 bit ke dalam bentuk biner.

5.4.4 Hasil dan Analisis Pengujian :

Tabel 5.3. Hasil Pengujian Sistem Mikrokontroler

Kondis i	Keluaran pada LED Display							
	Bi t 0	Bi t 1	Bi t 2	Bi t 3	Bit 4	Bi t 5	Bit 6	Bit 7
I	1	1	1	1	0	0	0	0
II	0	0	0	0	1	1	1	1

Dari tabel 5.3 terlihat bahwa port 1 memberikan logika 0FH dan F0H secara bergantian sesuai dengan isi program.

5.5 Pengujian Sistem Keseluruhan

5.5.1 Tujuan Pengujian :

Pengujian alat secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui apakah perangkat keras dan perangkat lunak berjalan dengan baik. Hal ini dimaksudkan untuk melihat apakah sistem pengendalian berjalan sesuai dengan perencanaan dan sebagai indikasi penelitian ini berhasil.

5.5.2 Peralatan yang Digunakan :

1. Power supply hot-wire dibuat dan diprogram.
2. Catu daya
3. Hot-wire dengan resistansi kawat 25,4777 Ω
4. Mikrokontroler Atmega AVR328

5.5.3 Prosedur Pengujian :

1. pasang hot-wire ke power suply.
2. Hidupkan saklar pada posisi ON.
3. Masukkan setpoint (temperatur).
4. Tekan tombol START jika proses siap.

5. mencatat data.

5.5.4 Hasil dan Analisis Pengujian :

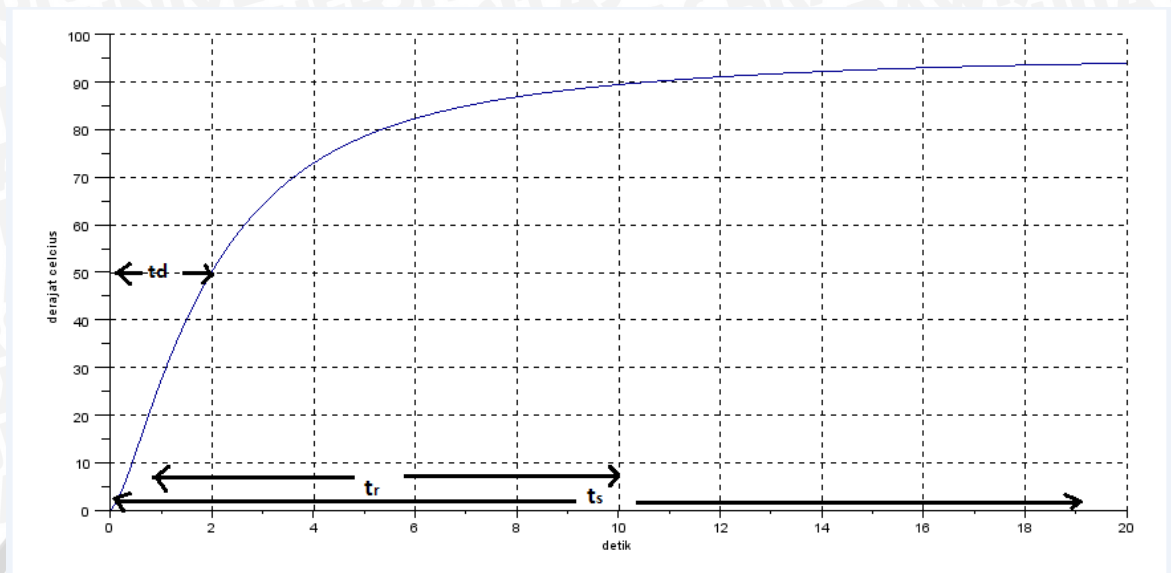
Dalam pengujian ini power supply di-set nilai temperature sebesar 95°C,90°C,85°C,80°C.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil seperti tabel di bawah ini tabel 5.4.

Tabel 5.4: Nilai Steady State Suhu pada Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

No.	Set Point Suhu (°C)	Steady state suhu		Δ Suhu (°C)	Δ%
		Perhitungan	Pengukuran		
1	95	94,95	95,01	0,06	0,006
2	90	89,98	90,02	0,04	0,004
3	85	84,97	85,02	0,05	0,005
4	80	79,94	80,01	0,07	0,008
Kesalahan rata-rata				0,01154%	

Grafik yang dihasilkan berdasarkan pengujian sistem secara keseluruhan diperlihatkan pada Gambar 5.8 dibawah ini



Gambar 5.8: Grafik Pengujian Steady State Temperature

Sumber: Perancangan

Adapun Keterangan Gambar adalah sebagai berikut

- Waktu tunda (Delay time), t_d : merupakan waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah harga akhir pada saat lonjakan pertama kali, pada pengujian ini t_d sebesar 2 detik mencapai nilai sebesar 50°C .
- Waktu naik (Rise time), t_r : merupakan waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10% sampai 90% harga akhir, pada pengujian sistem ini didapatkan t_r sebesar 10 detik.
- Waktu penetapan (Setling time), t_s : merupakan waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah di sekitar harga akhir, pada gambar terlihat t_s sebesar 19 detik.

5.6 Pengujian Sistem dengan *Disturbance* Suhu

5.6.1 Tujuan Pengujian

Pengujian sistem dengan *disturbance* suhu bertujuan untuk mengetahui apakah perangkat keras dan perangkat lunak berjalan dengan baik jika terdapat gangguan (*disturbance*) berupa suhu. Hal ini dimaksudkan untuk melihat apakah sistem pengendalian berjalan sesuai dengan perencanaan dan sebagai indikasi penelitian ini berhasil.

5.6.2 Peralatan yang Digunakan

1. Power Supply Hot Wire
2. Catu Daya
3. Hot Wire dengan Resistansi kawat 25,4777 Ω
4. Mikrokontroler AVR 328
5. Kipas Angin

5.6.3 Prosedur Pengujian

1. Pasang Hot-wire ke Power Supply
2. Hidupkan Saklar pada posisi ON
3. Masukkan Set Point (temperatur)
4. Tekan Tombol Start jika sudah siap
5. Hidupkan Kipas Angin
6. Catat data

5.6.4 Hasil dan Analisis Pengujian

Dalam pengujian ini kita menset temperature sebesar 95°C, 90°C, 85°C, 80°C.

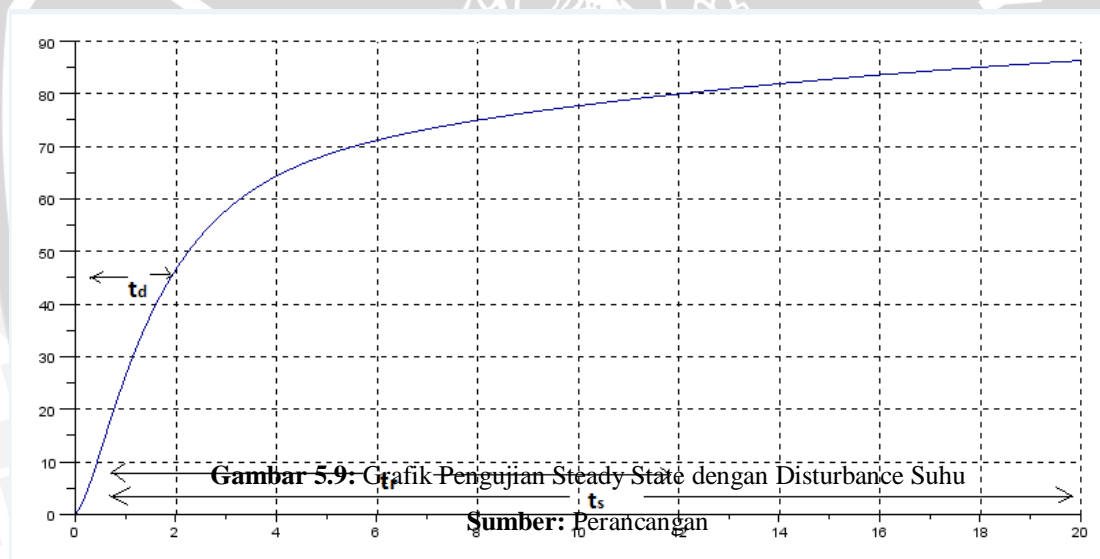
Berdasarkan Pengujian yang dilakukan didapatkan hasil seperti tabel 5.5.

Tabel 5.5: Nilai Steady State pada Pengujian Sistem dengan Disturbance Suhu

NO.	Suhu	Steady State Suhu	Δv	$\Delta\%$
-----	------	-------------------	------------	------------

	(°C)	Perhitungan	Pengukuran		
1	95	90,15	89,03	1,12	1,2
2	90	84,98	82,50	2,48	3
3	85	80,97	79,98	0,99	1,2
4	80	75,24	74,89	0,35	0,46
Kesalahan rata-rata				1,465%	

Grafik yang dihasilkan berdasarkan pengujian sistem secara keseluruhan diperlihatkan pada Gambar 5.9 dibawah ini



Adapun Keterangan untuk gambar 5.8 adalah sebagai berikut

- Waktu tunda (Delay time), t_d : merupakan waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah harga akhir pada saat lonjakan pertama kali, pada pengujian ini t_d sebesar 2 detik mencapai nilai sebesar 45°C .
- Waktu naik (Rise time), t_r : merupakan waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10% sampai 90% harga akhir, pada pengujian sistem ini didapatkan t_r sebesar 12 detik.

- Waktu penetapan (Setling time), t_s : merupakan waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah di sekitar harga akhir, pada gambar terlihat t_s sebesar 20 detik.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

1. Dalam perancangan dan simulasi sensor, dimana kondisi suhu yang diberikan adalah 95°C , 90°C , dan 80°C , terdapat perbedaan nilai keluaran tegangan pada pengkondisi sinyal secara perhitungan dan pengukuran, rata-rata error sebesar 0,1093 %, namun pada nilai error ini sistem sudah dapat dikatakan bekerja dengan baik hal ini terlihat pada hasil pemotongan yang nampak rapi dan uniform.
2. Dari prosedur perancangan dan simulasi secara keseluruhan, terdapat nilai error sebesar 0,01154%, error ini didapatkan dari perbedaan antara nilai steady state suhu pada saat perhitungan dan pengukuran, namun secara keseluruhan system sudah dapat dikatakan bekerja dengan baik.
3. Karena penempatan sensor berada di salah satu ujung Long Hot-wire, kemungkinan temperatur yang terbaca pada sensor terdapat perbedaan dengan temperatur secara keseluruhan.

6.2 Saran

1. Perlu dikaji ulang cara menempatkan sensor pada Long Hot-wire agar diperoleh pembacaan temperatur yang sesuai dengan temperatur sebenarnya.
2. Long Hot-wire ini dapat dikombinasikan dengan mekanik tambahan untuk dapat membentuk hasil potong yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

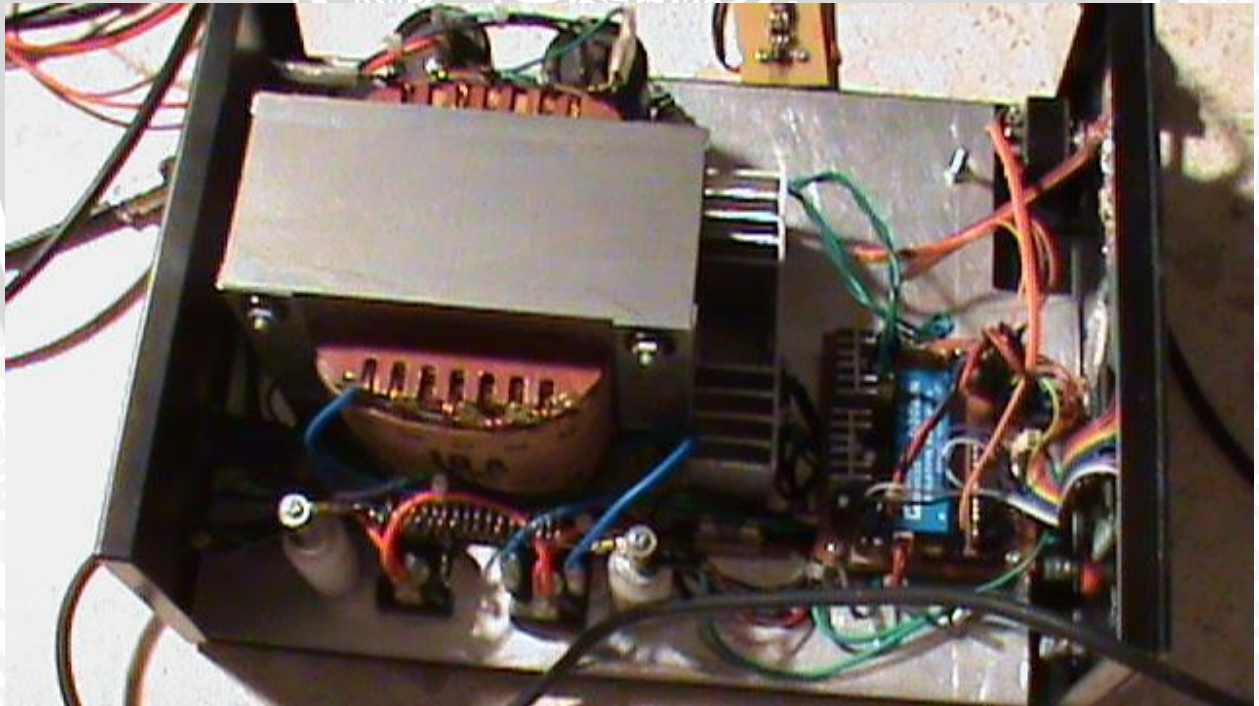
- Dorf, Richard C.&Robert H.Bishop. 2000. *Modern Control System 9th ed.* Prentice-Hall International Edition.
- Fortuna, Luigi & Giovanni Muscato. 1996. *A Roll Stabilization System for A Monohull Ship:Modelling, Identification, and Adaptive Control.* IEEE transaction on Control System Technology, vol. 4, no. 1, Januari 1996
- Golten, Jack & Andy Verwer. 1992. *Control System Design and Simulation.* Singapura: McGraw-Hill International Editions
- Kuo, Benjamin C. 1987. *Automatic Control System 5th edition.* New Jersey: Prentice Hall International Inc.
- Ogata, Katsuhiko. 1985. *Teknik Kontrol Automatik jilid 1 dan 2.* Jakarta: Penerbit Erlangga
- Atmel. 2011, *8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash ATmega328.*
[HTTP://www.Atmel.com/ATmega328.pdf](http://www.Atmel.com/ATmega328.pdf).
- Atmel. 2011, *8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash 328.* [HTTP://www.Atmel.com/AT328.pdf](http://www.Atmel.com/AT328.pdf).
- Eko, A.P. 2002. *Belajar Mikrokontroler (Teori dan Aplikasi).* Gava Media. Yogyakarta.
- Harten, P. Van, S. 1981. *Instalasi Listrik Arus Kuat 2.* Bandung.
[Holmes](#) D. Grahame, [Thomas A. Lipo](#), [T. A. Lipo](#). 2003. *Pulse Width Modulation for Power Conversion* Wiley-IEEE, 2003

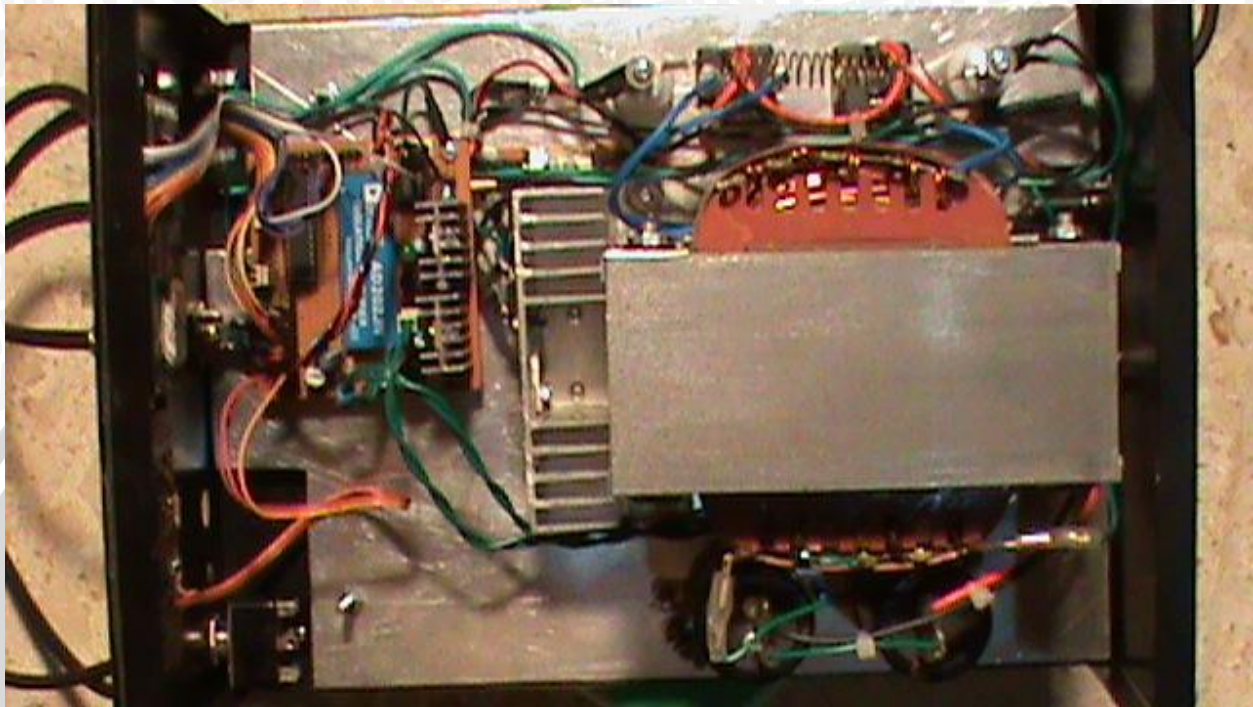


LAMPIRAN I

FOTO ALAT









LAMPIRAN II

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

GAMBAR RANGKAIAN



LAMPIRAN III

LISTING PROGRAM



```
/*  
/* SKRIPSI */  
/* JUDUL: Pengendalian temperatur long hotwire */  
/* untuk pemotongan styrofoam berbasis */  
/* mikrokontroler ATMEGA-328 */  
/* NAMA : I Gede Dharma D. */  
/* NIM : 0610630050 */  
*/
```

```
#include <LiquidCrystal.h>  
LiquidCrystal lcd(7,8,9,10,11,12,13);
```

```
#define DOWN_KEY 0  
#define MENU_KEY 1  
#define LEFT_KEY 2  
#define SELECT_KEY 3  
#define RIGHT_KEY 4  
#define UP_KEY 5  
#define NO_KEY -1
```

```
// tombol -----  
int adc_key_val[6] = {40, 300, 535, 748, 900, 972 };  
int NUM_KEYS = 6;  
int adc_key_in;  
int KEYIN = 3;
```

```
//-----  
  
//const int pinPWM = 13;  
//const int pinPWM = 5;  
const int pinPWM = 6;  
const float default_setpointCurrent = 2.5;  
const int pinTemperatureSensor = A5;  
float Temperature = 0, setpointTemperature = 95;  
char strTemperature[5];  
unsigned long keyTime = 0, dispTemperatureTime = 0;  
float Kp = 80000;  
byte flagRUN = false;  
const unsigned long ampK = 4.07;
```

```
/*-----*/  
/* initLCD() */  
/* inialisasi lcd dan tampilan copyright */  
/*-----*/  
void initLCD()  
{  
  // inialisasi lcd  
  lcd.begin(16,2);  
  lcd.clear();  
  lcd.print(" Long Hot-Wire ");  
  lcd.setCursor(0,1);  
  lcd.print("-- Styro Foam --");  
  delay(4000);
```

```
for (int positionCounter = 0; positionCounter < 17; positionCounter++) {  
    lcd.scrollDisplayLeft();  
    delay(150);  
}  
delay(300);  
lcd.clear();  
lcd.print("I Gede Dharma D.");  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("NIM: 0610630050");  
}
```

```
/*  
*****  
*/
```

```
/*  
*****  
*/
```

```
/* initStateDisp() */
```

```
/* inisialisasi form tampilan status kontroler */
```

```
/*  
*****  
*/
```

```
void initStateDisp()
```

```
{
```

```
    lcd.clear();
```

```
    lcd.print("SetPoint: 95 ");
```

```
    lcd.print((char)223);
```

```
    lcd.print("C");
```

```
    lcd.setCursor(0,1);
```

```
    lcd.print("Output :");
```

```
    lcd.setCursor(14,1);
```

```
    lcd.print((char)223);
```

```
    lcd.print("C");
```

```
}
```

```
/*  
*****  
*/
```

```

/*****/
/* actionKontroler_P() */
/* Kontroler P: */
/* outKontroler = Err*Kp */
/*****/

void actionKontroler_P()
{
    float Err;
    float aktuatorP;
    int outputPWM;

    // hitung error
    Err = setpointTemperature-Temperature;
    // hitung kontroler
    aktuatorP = Kp*Err;
    if(aktuatorP < 0) aktuatorP = 0;
    if(aktuatorP > 1000) aktuatorP = 2000;
    outputPWM = map((int)aktuatorP,0,2000,0,255);
    analogWrite(pinPWM,outputPWM);
}
/*****/

/*****/
/* desiredSetPoint() */
/* menseset besaran setpoint melalui tombol: */
/* UP_KEY : menaikkan setpointCurrent */
/* DOWN_KEY : menurunkan setpointCurrent */

```



```
/* SELECT_KEY : setpointCurrent menjadi default */
/*****/
void desiredSetPoint()
{
    int key;
    unsigned long t;

    t = millis()-keyTime;
    if (t<150)
        return;
    else
        keyTime = millis();

    key = get_key();
    if (key != NO_KEY)
    {
        switch (key)
        {
            case UP_KEY:
                setpointCurrent += 0.01;
                break;
            case DOWN_KEY:
                setpointCurrent -= 0.01;
                break;
            case RIGHT_KEY:
                setpointCurrent += 0.1;
                break;
            case LEFT_KEY:
                setpointCurrent -= 0.1;
                break;
        }
    }
}
```

```
case SELECT_KEY:
    setpointCurrent = default_setpointCurrent;
    break;
}
if (setpointCurrent < 0) setpointCurrent = 0;
if (setpointCurrent > 5) setpointCurrent = 5;
//Serial.println(setpointCurrent);
}
}
/*****/

/*****/
/* get_key() */
/* membaca penekanan tombol melalui konversi ADC */
/*****/
int get_key()
{
    int k;
    // baca tombol
    adc_key_in = analogRead(KEYIN);
    // uji tombol
    for (k = 0; k < NUM_KEYS; k++)
    {
        if (adc_key_in < adc_key_val[k])
        { return k; }
    }
    // cek jika tidak ada tombol yang ditekan
    if (k >= NUM_KEYS)
    {
```

```
k = -1;  
return k;  
}  
}  
/*****/
```

```
void readTemperature()  
{  
  Temperature = analogRead(pinTemperatureSensor);  
  Temperature = (Temperature*5000)/1024;  
  Temperature /= ampK;  
  Temperature /= 10;  
  if (Temperature > 95.5) Temperature = 95.5;  
  dtostrf(Temperature,2,1,strTemperature);  
}
```

```
void dispTemperature()  
{  
  unsigned long t;  
  t = millis()-dispTemperatureTime;  
  if (t<250)  
    return;  
  else  
    dispTemperatureTime = millis();
```

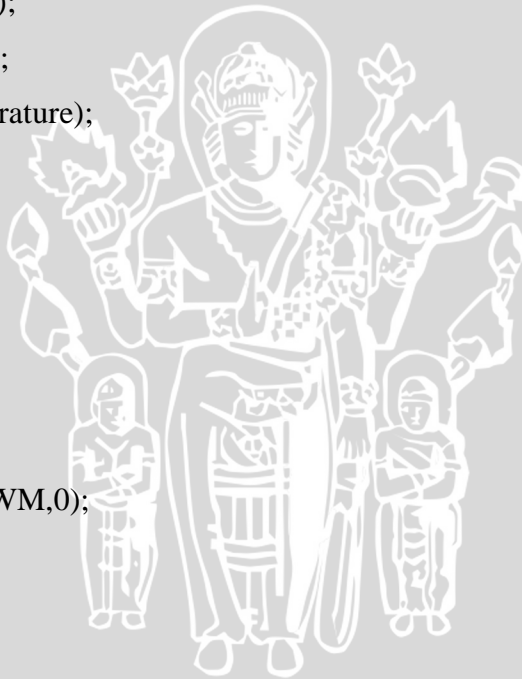
```
// indikator  
lcd.setCursor(7,1);  
if (flagRUN == false)
```

```
{  
  lcd.print("*");  
  flagRUN = true;  
}  
else  
{  
  lcd.print(" ");  
  flagRUN = false;  
}
```

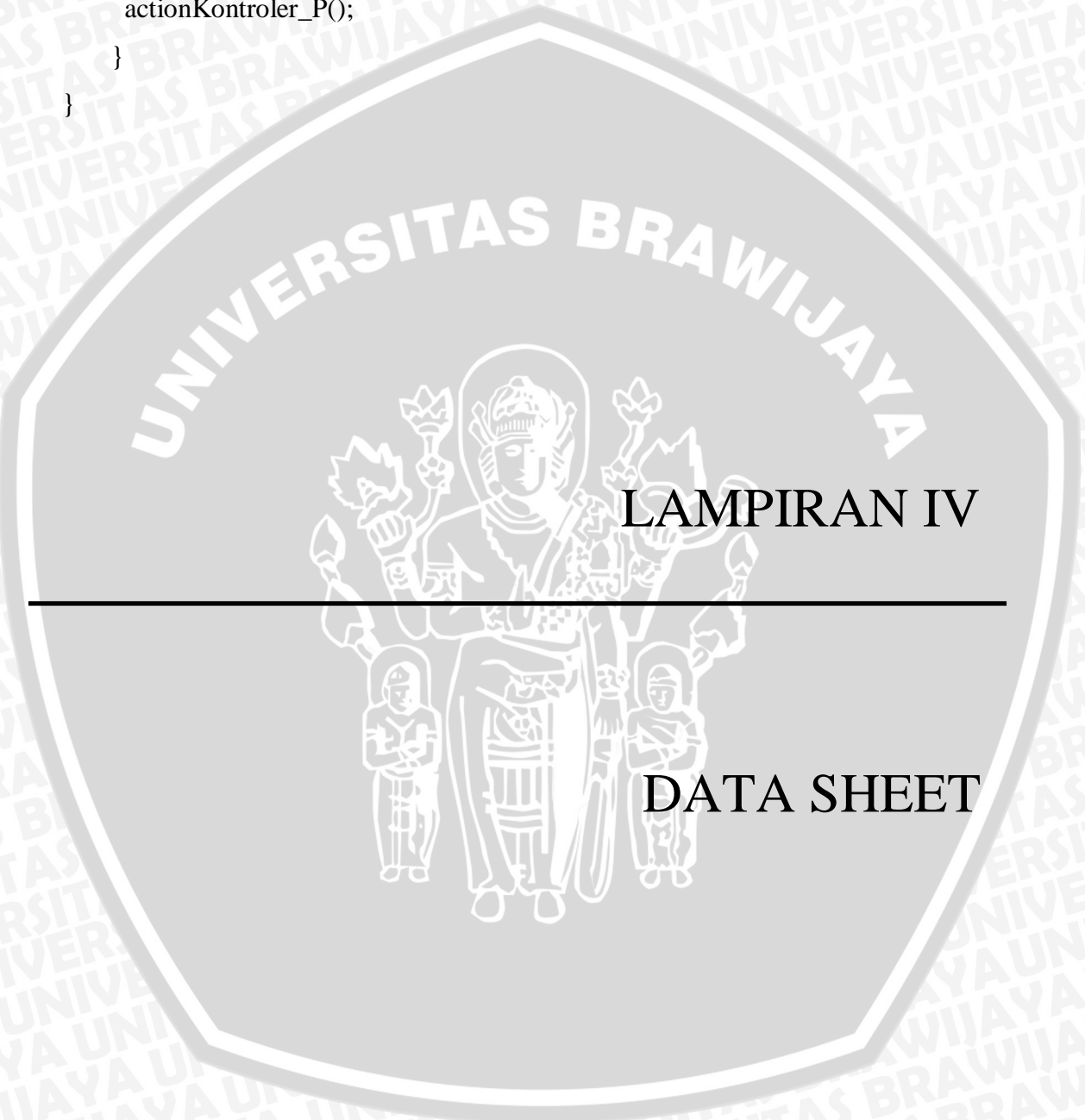
```
lcd.setCursor(10,1);  
readTemperature();  
lcd.print(strTemperature);  
}
```

```
void setup()  
{  
  analogWrite(pinPWM,0);  
  initLCD();  
  delay(2000);  
  initStatusDisp();  
}
```

```
void loop()  
{  
  while(1)
```



```
{  
  readTemperature();  
  dispTemperature();  
  actionKontroler_P();  
}  
}
```



LAMPIRAN IV

DATA SHEET

