TUGAS AKHIR TF 145565

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TEMPERATUR GAS HIDROGEN PADA PLANT ELEKTROLISIS AIR BERBASIS MIKROKONTROLER

KYKY SUMIARSIH
NRP. 2413 031 072

Dosen Pembimbing
Arief Abdurrakhman S.T., M.T.

PROGRAM STUDI D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016

TUGAS AKHIR TF 145565

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TEMPERATUR GAS HIDROGEN PADA PLANT ELEKTROLISIS AIR BERBASIS MIKROKONTROLER

KYKY SUMIARSIH
NRP. 2413 031 072

Dosen Pembimbing
Arief Abdurrakhman S.T., M.T.

PROGRAM STUDI D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016

FINAL PROJECT – TF 145565

DESIGN OF MONITORING SYSTEM HYDROGEN GAS TEMPERATURE AT WATER ELECTROLYSIS PLANT BASED MICROCONTROLLER

KYKY SUMIARSIH
NRP. 2413 031 072

Supervisor
Arief Abdurrakhman S.T., M.T.

DIPLOMA OF METROLOGY AND INSTRUMENTATION ENGINEERING
Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TEMPERATUR GAS HIDROGEN PADA PLANT ELEKTROLISIS AIR BERBASIS MIKROKONTROLER

TUGAS AKHIR

Oleh :

Kyky Sumiarsih
NRP. 2413 031 072

Surabaya, 01 Agustus 2016
Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Arief Abdurrakhman, S.T., M.T.
NIP. 19870712 2014041 002

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS

Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., PhD
NIP. 19780902 200312 1 002

Ketua Program Studi
DIII Metrologi dan Instrumentasi

Dr.Ir. Purwadi Agus D., M.Sc.
NIP. 19620822 198803 1 001

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TEMPERATUR GAS HIDROGEN PADA PLANT ELEKTROLISIS AIR BERBASIS MIKROKONTROLER

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Kyky Sumiarsih
NRP. 2413 031 072

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Arief Abdurrakhman, S.T., M.T. ..... (Pembimbing I)
2. Ir. Roekmono, M.T ..... (Ketua Penguji)
3. Ir. Harsono Hadi, M.Sc., Ph.D ..... (Penguji I)
4. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc. ..... (Penguji II)
5. Bagus Tris Atmaja, S.T.,M.T ..... (Penguji III)

SURABAYA
01 AGUSTUS 2016

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TEMPERATUR GAS HIDROGEN PADA PLANT ELEKTROLISIS AIR BERBASIS MIKROKONTROLER

Nama Mahasiswa : Kyky Sumiarsih
NRP : 2413 031 072
Program Studi : D3-Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Arief Abdurrakhman S.T., M.T.

Abstrak

HHO (*Brwon Gas*) adalah hasil dari proses elektrolisis air, pada dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda (katoda dan anoda). Agar proses elektrolisa dapat terjadi dengan cepat maka air tersebut dicampur dengan elektrolit sebagai katalis. Katalis dalam peneliatian yang telah dilakukan menggunakan KOH dengan konsentrasi 50mol/L dicampur aquades dengan perbandingan 6 : 4. Untuk mengetahui laju produksi gas hidrogen dibuat sistem monitoring temperatur gas hidrogen menggunakan sensor LM35 dan termokopel tipe K untuk mengetahui temperature gas hidrogen pada *storage system.* Validasi nilai dari sensor temperatur dilakukan dengan kalibrasi, dari kalibrasi sensor termokopel tipe K menghasilkan sensitivitas sebesar 98,5%, non linierirtas sebesar 11,15%, akurasi sebesar 98,1%, *error* sebesar 1,9%, dan ketidakpastian berulang sebesar ±1,478. Sedangkan kalibrasi sensor LM35 menghasilkan sensitivitas sebesar 99,97%, non linierirtas sebesar 3,6%, akurasi sebesar 99,67%, *error* sebesar 0,3 %, dan ketidakpastian berulang sebesar ±1,88. Data kalibrasi sensor menyatakan bahwa sensor masih layak untuk digunakan, sehingga pada penelitian yang sudah dilakukan dengan waktu pengambilan data selama 1 jam 30 menit. Temperatur maksimum pada prodak gas hidrogen yakni 31.79 ^{o}C sedangkan pada *storage* hidrogen temperatur menunjukkan kondisi stabil antara 27.3 ^{o}C-28.3 ^{o}C

Kata kunci: Elektrolisis, Karakteristik Stastik, LM35, Monitoring, Termokopel tipe K

DESIGN OF MONITORING SYSTEM HYDROGEN GAS TEMPERATURE IN WATER ELECTROLYSIS PLANT BASED MICROCONTROLLER

Name	**: Kyky Sumiarsih**
Number Of Student	**: 2413 031072**
Study Program	**: D3-Metrologi dan Instrumentasi**
Lecture	**: Teknik Fisika FTI-ITS**
Supervisor	**: Arief Abdurrkahman S.T., M.T.**

Abstract

HHO (Brwon Gas) is the result of a process of electrolysis of water, basically done with an electric current to the water through two electrodes (a cathode and anode). In order for the electrolysis process can happen quickly, the water is mixed with the electrolyte as a catalyst. Catalysts in experiment that have been performed using KOH with a concentration of 50mol / L distilled water mixed with a ratio of 6: 4. To determine the production rate of hydrogen gas made of hydrogen gas temperature monitoring system using LM35 and K type thermocouple to determine the temperature of hydrogen gas in the storage system. Validation of the value of the temperature sensor is done with calibration, calibration type K thermocouple sensor produces a sensitivity of 98.5%, non linierirtas amounted to 11.15%, an accuracy of 98.1%, an error of 1.9%, and recurring uncertainty of ±1.478 , While the LM35 calibration resulted in a sensitivity of 99.97%, non linierirtas by 3.6%, amounting to 99.67% accuracy, error of 0.3%, and recurring uncertainty of ±1.88. Data of sensor calibration stating that the sensor is still feasible to be used, so that the research that has been done by the time of data collection for 1 hour 30 minutes. The maximum temperature at which hydrogen gas prodak 31.79^{o}C while the hydrogen storage temperatures showed a stable condition between 27.3°C-28.3°C.

Keywords : Elektrolysis, Characteristics Statics, LM35, Monitoring, Type K Termocouple

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN ..... **iii**
ABSTRAK ..... **v**
ABSTRACT ..... **vi**
KATA PENGANTAR ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR GAMBAR ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xii**

BAB I. PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan 3
1.5 Metodologi Penelitian 3
1.6 Sistematika Laporan 4

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Elektrolisis Air 5
2.2 Sensor Termokopel Tipe K 7
2.3 Sensor LM35 7
2.4 ATMega32 8
2.5 IC AD595 10
2.6 IC LM358 11
2.7 *Liquid Crysta Display* 16x2 12
2.8 Komunikasi Serial 13
2.9 *Serial Periperal Interface* 14
2.10 SD/MMC 15
2.11 Microsoft Visual Studio 17
2.12 My SQL 18
2.13 Karakteristik Alat Ukur 18

BAB III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT
3.1 Diagram Alir (*Flowchart*) 25

3.2 Keterangan *Flowchart* 26
3.2.1 Studi Literatur Elektrolisis dan Alat Ukur Temperatur.....26
3.2.2 Perancangan dan Pembuatan *Hardware* serta *Software* 26
3.2.3 Integrasi *Hardware* dan *Software* Pemrograman...31
3.2.4 Pengujian Sistem Pengukuran 31
3.2.5 Pembuatan Desain pada *Software Visual Studio* dan *Datalogger* 31
3.2.6 Intergrasi *Hardware* dan *Software* Sistem Monitoring 33
3.2.7 Pengambilan Data Karakteristik dan Kalibrasi.....33
3.2.8 Analisis Data dan Penarikan Kesimpulan.....33

BAB IV. ANALISA DATA
4.1 Pengujian Alat 35
4.1.1 Karakteristik Statik Sensor Termokopel tipe K.....35
4.1.2 Kalibrasi Sensor Termokopel tipe K 38
4.1.3 Karakteristik Statik Sensor LM35 42
4.2.1 Kalibrasi Sensor LM35.....45
4.2 Analisa Data 47

BAB V. PENUTUP
5.1 Kesimpulan.....51
5.2 Saran.....51

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN A (*Datasheet*)
LAMPIRAN B (Data Kalibrasi)
LAMPIRAN C (Data Uji Temperatur pada *Plant* Elektrolisis)
LAMPIRAN D (*Listing Program*)
LAMPIRAN E (Laporan Hasil Pengujian Hidrogen)
BIOGRAFI PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Eeltrolisis Air 5
Gambar 2.2 Pemecahan molekul air menjadi HHO 5
Gambar 2.3 Sensor Termokopel Tipe-K 7
Gambar 2.4 Sensor LM35 8
Gambar 2.5 Konfigurasi pin ATMega32 9
Gambar 2.6 Konfigurasi pin AD595 11
Gambar 2.7 LM358 12
Gambar 2.8 LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2 12
Gambar 2.9 RS 232 14
Gambar 2.10 *Wiring* RS232 dengan Mikrokontroler 14
Gambar 2.11 Blok Diagram Antarmuka SPI *single Master Single Slave* 15
Gambar 2.12 Perhitungan tipe FAT 16
Gambar 2.13 Modul SD *Card* atau MMC 17
Gambar 2.14 Karakteristik *Output* Instrumen 20
Gambar 2.15 Grafik Non Linieritas 20
Gambar 2.16 Penjelasan Akurasi dan Presisi 21
Gambar 3.1 *Flowchart* Perancangan Pembuatan Tugas Akhir 25
Gambar 3.2 Desain Rancang Bangun Sistem Elektrolisis Air 26
Gambar 3.3 Peletakan Termokopel dan LM 35 pada Plant Elektrolisis Air 27
Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem Monitoring 27
Gambar 3.5 Skematik Rangkaian Modul Termokopel Tipe K dan LM35 pada *Software EAGLE* 28
Gambar 3.6 Modul Termokopel Tipe K dan LM35 29
Gambar 3.7 Plant Elektrolisis Air 29
Gambar 3.8 Peletakan Sensor Termokopel pada Plant Elektrolisis Air 30
Gambar 3.9 Peletakan Sensor LM35 pada Plant Elektrolisis Air 30
Gambar 3.10 Desain *software monitoring* pada *Microsoft Visual Studio* 2010 32

Gambar 3.11 Tampilan penyimpanan Data pada MMC 32
Gambar 4.1 Grafik Pembacaan Sensor Termokopel..... 36
Gambar 4.2 Grafik Linieritas Sensor Termokopel 3
Gambar 4.3 Grafik Pembacaan Sensor LM35 43
Gambar 4.4 Grafik Linieritas Senor LM35 44
Gambar 4.5 Grafik Respon Sensor Termokopel..... 48
Gambar 4.6 Grafik Respon Sensor LM35 49

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Pengujian Termokopel tipe K 35
Tabel 4.2 Data Kalibrasi Termokopel tipe K..... 42

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketergantungan manusia terhadap energi fosil, misalnya energi untuk pembangkit listrik, industri dan berbagai macam alat-alat transportasi tidak dapat dipisahkan dalam upaya memenuhi kebutuhan kesehariannya. Meningkatnya jumlah penduduk dunia dari tahun ke tahun menyebabkan kebutuhan akan energi semakin besar, sedangkan jumlah energi yang tersedia hanya cukup untuk beberapa tahun mendatang. Konsumsi bahan bakar ini dapat berdampak negatif terhadap lingkungan. Melihat kondisi tersebut maka saat ini sangat diperlukan penelitian yang intensif untuk mencari, mengoptimalkan dan menggunakan sumber energi alternative[11].

Dewasa ini salah satu bentuk energi alternatif yang menjadi perhatian besar dari banyak negara maju adalah *brown gas* yang merupakan gabungan gas hidrogen dan oksigen. Suplai energi yang dihasilkan oleh gas brown sangat bersih karena hanya menghasilkan uap air sebagai emisi gas buang serta bahan bakunya berupa air yang merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui serta kelimpahannya di alam cukup besar. Penelitian berkenaan dengan gas brown telah dilakukan oleh beberapa para peneliti diantaranya: Tjatur, dkk (2009) yang membuat kompor air dengan 6 tabung elektrolizer menggunakan daya sebesar 202,4 volt. Aditya dan Andang (2011) memproduksi hidrogen dengan sistem elektrolisis suhu tinggi dan mampu menghasilkan hidrogen dalam skala besar dengan tingkat kemurnian tinggi. Putra (2010) memproduksi gas hidrogen dan gas oksigen dengan cara mengelektrolisis larutan KOH dan menyimpulkan bahwa, semakin besar konsentrasi larutan maka volume gas yang dihasilkan semakin besar. Suyuty (2011) membuat generator hidrogen penghasil gas brown dan mereduksi SOx-NOx dari motor diesel menggunakan elektroda stainless steel dan berhasil mendapatkan arus yang besar serta gas yang

stabil dengan elektrolit air laut. Gifrani (2013) Hasil pembakaran dari pencampuran gas HHO dapat meningkatkan performa mesin dan mengurangi polusi. Penelitian *Brown's Gas* telah banyak dikembangkan. Abdurrakhman (2013) Pada penelitian elektrolisis air yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari proses elektrolisis air yang berkaitan dengan optimalisasi prodak hidrogen dengan variasi tegangan input. Dalam proses elektrolisis air agar dapat terjadi reaksi dengan cepat maka air tersebut dicampur dengan elektrolit sebagai katalis. Elektrolit yang digunakan adalah larutan basa seperti KOH (basa dari golongan periode IA, alkali tanah) maka akan terjadi reaksi basa. Pada reaksi basa, reaksi reduksi terjadi di katoda dimana molekul air mengikat elektron (e-) sehingga terpecah menjadi gas Hidrogen ($H_{2(g)}$) dan anion OH-. Anion OH- tersebut kemudian tertarik kesisi anoda dan terpecah menjadi gas oksigen dan molekul H_2O. Telah banyak dilakukan penelitian mengenai produksi gas Brown secara elektrolisis dengan penggunaan parameter penentu produksi gas Brown yang berbeda. Permasalahan timbul terhadap variasi pada variabel produksi gas Brown, sehingga perlu dilakukan pengkajian terhadap referensi sebelumnya. Salah satunya mengenai laju produksi gas hidrogen dengan melakukan proses monitoring pada pipa *output* anoda.

Dalam tugas akhir ini dirancang sebuah sistem monitoring temperatur pada proses elektrolisis air menggunakan sensor LM35 dan termokopel tipe K dengan variasi campuran KOH (konsentrasi 50M) dengan *aquades* yakni dengan perbandingan 4:6. Tegangan *input* sebesar 12 volt dengan arus 7-9A. Dari proses tersebut didapatkan data-data temperatur untuk mengetahui laju produksi gas hidrogen dari proses elektrolisis.

1.2 Permasalahan

Pada pelaksanaan tugas akhir ini permasalahan yang diangkat yakni :

a. Bagaimana membuat sistem monitoring temperatur menggunakan termokopel tipe K dan LM35?

b. Bagaimana mengetahui karakteristik static dari sensor termokopel tipe K dan LM35?
c. Bagaimana membuat *data logger* sistem monitoring temperatur untuk mengetahui optimalisasi produk hidrogen?

1.3 Batasan Masalah

Perlu diberikan beberapa batasan permasalahan agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan. Adapun batasan permasalahan dari sistem yang dirancang ini adalah

a. Fokus tugas akhir ini membahas tentang sistem monitoring temperatur pada proses elektrolisis air dan *mixing* gas hidrogen.
b. Elektroda yang digunakan dalam proses elektrolisis air yakni *stenleesstell* tipe 304, serta KOH sebagai katalis.
c. Menggunakan mikrokontroller ATMega32 sebagai fungsi pengolah data monitoring pada *plant* elektrolisis.
d. Aplikasi *database* yang digunakan yakni *visual studio* dengan media penyimpanan MySQL untuk penyimpanan di PC, serta untuk data *logger* menggunakan SD *Card*.

1.4 Tujuan

Tujuan yang dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

a. Dapat membuat sistem monitoring temperatur dengan sensor termokopel tipe K dan LM35.
b. Dapat mengetahui karakteristik static sensor termokopel tipe K dan LM35.
c. Dapat membuat *data logger* sistem monitoring temperatur menggunakan PC dan SD *card*.

1.5 Metodologi Penelitian

Untuk mencapai tujuan penyelesaian tugas akhir yang direncanakan, maka perlu dilakukan suatu langkah-langkah dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Adapun langkah – langkahnya adalah sebagai berikut :

a. Studi Literatur, dalam merealisasikan tugas akhir ini tentu dibutuhkan refrensi yang meliputi pengetahuan dasar tentang sistem perancangan dan pembuatan *plant* elektrolisis air.
b. Mendesain *plant* elektrolisis.
c. Pembuatan sistem dari rancang bangun *plant* elektrolisis meliputi *hardware* dan *software*.
d. Pengujian sistem dan analisa alat, pengujian dan analis alat dilakukan untuk mengetahui cara kerja dan hasil dari proses monitoring serta pengambilan data.
e. Penyusunan Laporan.
f. Menyusun hasil teori dari pembuatan *hardware* dan *software*, analisa data dan kesimpulan dari data dan sistem yang ada.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

Bab I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi dan sistematika laporan.

Bab II TEORI PENUNJANG

Berisi tentang teori-teori dari sensor, teori, dan aplikasi yang digunakan dalam sistem monitoring.

Bab III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Berisi tentang desain sistem monitoring temperatur yang meliputi sensor, kontroler, dan aplikasi.

Bab IV PENGUJIAN ALAT DAN ANALISIS DATA

Berisi tentang pengujian sensor temperatur, kalibrasi sensor temperatur, serta pengambilan data pada *plant.*

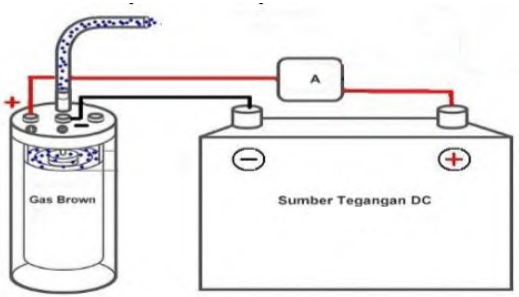
Bab V PENUTUP

Berisi tentang hasil yang diperoleh dari analisis sistem, analisa data dan saran.

BAB II
TEORI PENUNJANG

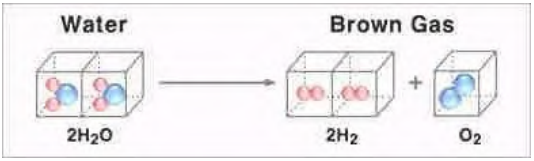
2.1 Elektrolisis Air

Air (H_2O) adalah senyawa terpenting dalam kehidupan yang dalam kandungannya terdiri dari senyawa Hidrogen (H_2), dan senyawa Oksigen (O_2). Sedangkan Gas HHO merupakan gas hasil dari proses pemecahan air murni (H_2O) dengan proses elektrolisis. Proses elektrolisis merupakan proses pemecahan air murni (H_2O) menjadi hidrogen dan oksigen. Hidrogen dan oksigen hasil pemurnian sistem elektrolisis ini dikenal dengan nama *Brown's Gas*[12].



Gambar 2.1 Proses Eelktrolisis Air[16]

Elektrolisis air pada dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda (katoda dan anoda). Agar proses elektrolisa dapat terjadi dengan cepat maka air tersebut dicampur dengan elektrolit sebagai katalis.



Gambar 2.2 Pemecahan Molekul Air menjadi Gas HHO[12]

Reaksi oksidasi di anoda (+) : $2\ H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 4H + (aq) + 4^{e-}$
Reaksi reduksi di katoda (-) : $2\ H+ (aq) + 2^{e-} \rightarrow H_{2(g)}$
Reaksi keseluruhan : $2\ H_2O_{(l)} \rightarrow 2\ H_{2(g)} + O_{2(g)}$

Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen.[16] Penggunaan hukum Boyle Gay Lussac atau persamaan gas ideal menjadi dasar untuk mengetahui seberapa besar produksi gas hidrogen. Hukum Boyle Gay Lussac dapat dilihat dalam persamaan 2.1

$$P.V = n.R.T \qquad (2.1)$$

Dimana :
P = tekanan gas (atm)
R = konstanta Boltzmann (0,082 L atm^{-1} $k^{-1}mol^{-1}$)
L = bilangan avogadro (6,023.1023 mol^{-1})[16]

Luas permukaan tercelup Semakin banyak luas yang semakin banyak menyentuh elektrolit maka semakin mempermudah suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Sehingga terjadi hubungan sebanding jika luasan yang tercelup sedikit maka semakin mempersulit elektrolit untuk melepaskan electron dikarenakan sedikitnya luas penampang penghantar yang menyentuh elektrolit. Sehingga transfer electron bekerja lambat dalam mengelektrolisis elektrolit.[16]

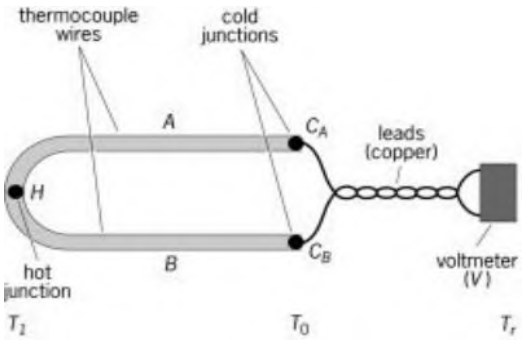
Sifat logam bahan elektroda Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh electron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlawanan arah dengan arah medan listrik. Ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan bergeraknya akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik

didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktifitas listrik dapat dilihat pada deret volta.

2.2 Sensor Termokopel Tipe-K

Termokopel merupakan sensor suhu yang terdiri atas sepasang penghantar yang berbeda disambung las atau dileburkan bersama pada satu sisi membentuk penghantar *hot* atau sambungan pengukuran yang ada ujung ujung bebasnya untuk menghubungkan dengan penghantar *cold* atau sambungan referensi.

Perbedaan suhu antara sambungan pengukuran dan sambungan referensi alat ini berfungsi sebagai termokopel dan bisa membangkitkan tegangan dc yang kecil. Tegangan output termokopel hampir berbanding lurus dengan perbedaan suhu antara sambungan pengukuran (*hot*) dan sambungan referensi (*cold*). Termokopel tipe K memiliki rentang suhu -200 ° C sampai +1200 ° C. Sensitivitas sebesar 41 µv /°C.[6]



Gambar 2.3 Sensor Termokopel[6]

2.3 Sensor LM35

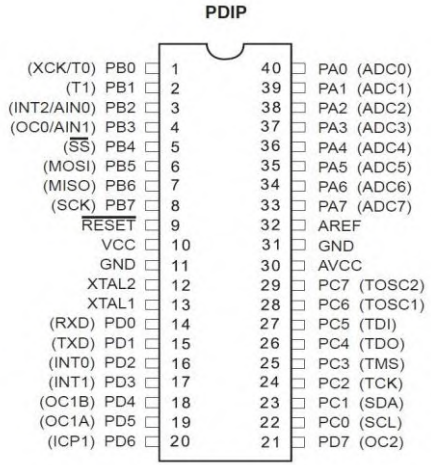
Sensor suhu LM35 merupakan komponen elektronik dalam bentuk chip IC dengan 3 kaki (3 pin) yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis, berupa suhu atau temperature sekitar sensor menjadi besaran elektris dalam bentuk perubahan tegangan. Sensor suhu LM35 memiliki parameter bahwa setiap

kenaikan 1 ºC tegangan keluarannya naik sebesar 10 mV dengan batas maksimal keluaran sensor adalah 1,5 V pada suhu 150 °C. Misalnya pada perancangan menggunakan sensor suhu LM35 kita tentukan keluaran adc mencapai *full scale* pada saat suhu 100 °C, sehingga saat suhu 100 °C tegangan keluaran transduser (10mV/°C x 100 °C) = 1V.[10] *Datasheet* sensor LM35 terlampir pada Lampiran A.

Gambar 2.4 Sensor Suhu LM35[10]

2.4 ATMega 32

Mikrokontroler adalah suatu mikroprosesor plus. Mikrokontroller adalah pusat kerja dari suatu sistem elektronika seperti halnya mikroprosesor sebagai otak komputer. Adapun nilai plus bagi mikrokontroller adalah terdapatnya memori dan port input/output dalam suatu kemasan IC yang kompak. Kemampuannya yang programmable,fitur yang lengkap seperti ADC internal, EEPROM internal, port I/O, komunikasi serial. Juga harga yang terjangkau memungkinkan mikrokontroller digunakan pada berbagai sistem elektronis,seperti pada robot, automasi industri, sistem alarm, peralatan telekomunikasi, hingga sistem keamanan. Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16 bit dan sebagian besar instruksi dalam 1 (satu) siklus clock, berbeda dengan instruksi MCS51 yang membutuhkan 12 siklus clock. Hal ini terjadi karena kedua jenis mikrokontroler tersebut memiliki arsitektur yang berbeda. AVR berteknologi RISC (*Reduced Instruction Set Computing*), sedangkan seri MCS51 berteknologi CISC (*Complex Instruction Set Computing*).[9]



Gambar 2.5 Konfigurasi ATMega32[9]

Seperti umumnya mikrokontroller lainnya, setiap kelas memiliki spesifikasi yang berbeda – beda. Dalam tugas akhir ini digunakan ATmega32 yang memiliki bagian – bagian seperti di bawah ini:

a. Saluran I/O sebayak 32 buah, yaitu port A, port B, port C, dan Port D.
b. ADC 10 bit sebanyak 8 saluran.
c. Tiga buah *timer* atau *counter* dengan kemampuan perbandingan.
d. CPU yang terdiri dari 32 buah register.
e. *Watchdog timer* dengan osilator internal.
f. SRAM sebesar 512 bit .
g. Memori flash sebesar 32 kb dengan kemampuan *read while write*.
h. Unit interup internal dan eksternal.
i. Port antarmula SPI.

j. EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi.
k. Antarmuka komparator analog.
l. Port USART untuk komunikasi serial.

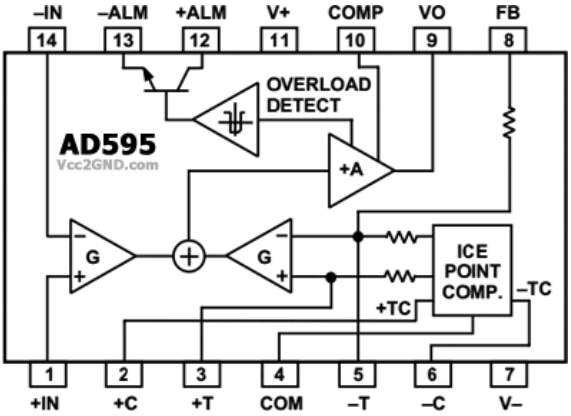
2.5 IC AD595

IC AD595 adalah sirkuit terpadu monolitik keluaran *Analog Device Inc* yang merupakan penguat instrument yang lengkap dan kompensator persimpangan dingin untuk termokopel. IC ini merupakan solusi terintegrasi untuk aplikasi sensor temperature berbasis termokopel. IC ini mengkombinasi referensi titik beku es dengan terkalibrasi untuk menghasilkan keluaran berimpedansi rendah (10 mV/^{o}C) secara langsung dari sinyal termokopel.[11] Penguatan tegangan masukan dalam AD595 terdapat pada persamaan 2.1.

$$\text{AD595 } output = (V_{in} + 11\ \mu V) \times 247.3 \qquad (2.2)$$

AD595 menyertakan sistem peringatan terhadap kegagalan termokopel yang mengindikasi jika satu maupun kedua kawat termokopel terlepas. Keluaran alarm ini memiliki format yang fleksibel, termasuk kemanapun untuk mengendali arahkan sinyal TTL. IC AD595 dapat dicatu dengan tegangan tunggal dan dengan menyatakan pasokan tegangan negative, suhu dibawah titik beku (0^{o}C) juga dapat diukur. Untuk meminimalisasi panas dari operasi internalnya. AD595 secara tipikal bekerja dengan total pasukan arus sebesar 160µA saja dalam keadaan tidak tersambung beban, namun IC ini juga mampu menangani beban hingga 5mA.

AD595 memiliki 14 pin, konfigurasi pin AD595 pada Gambar 2.6. *Datasheet* A595 terlampir pada lampiran A.



Gambar 2.6 Konfigurasi pin AD595[11]

2.6 LM358

LM358 adalah IC penguat operasional ganda (*dual operational amplifiers* atau Op-Amps). Komponen elektronika ini terdiri atas dua penguat operasional high-gain dengan kompensator frekuensi yang independen, dirancang untuk beroperasi cukup dari satu catu daya tunggal dengan rentang tegangan yang lebar untuk flesibilitas penuh dalam menerapkan rancangan rangkaian elektronika Anda. Dapat juga menggunakan catu daya terpisah selama perbedaan tegangan antara kedua catu daya antara 3V hingga 32V dan Vcc setidaknya 1,5 volt lebih tinggi dibanding tegangan masukan moda-bersama (*input common-mode voltage*). Tarikan dari arus pasokan rendah (*low supply current drain*) bersifat independen dari besarnya tegangan catu daya.

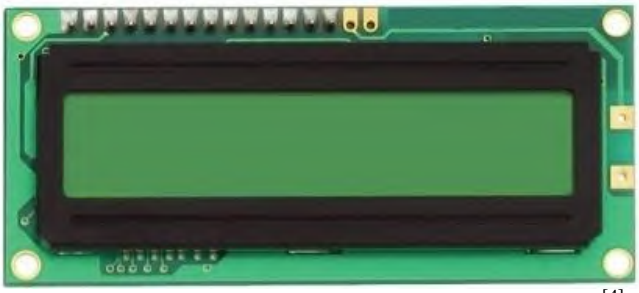
Contoh aplikasi meliputi penguat transduser, blok penguat DC, dan berbagai macam sirkuit penguat operasional konvensional lainnya. Implementasi rangkaian menjadi lebih mudah dengan sistem catu daya tunggal, sebagai contoh IC ini dapat beropeasi secara langsung dari catu daya standar 5V yang banyak digunakan di sistem digital dan mampu menyediakan

antarmuka elektronika tanpa tambahan catu daya ±5V maupun pembalik tegangan atau *voltage inverter*. LM358 mempunyai 8 pin.

Gambar 2.7 LM358 [6]

2.7 *LCD (Liquid Crystal Display)* 16x2

LCD (Liquid Cristal Display) berfungsi untuk menampilkan karakter angka, huruf atau simbol dengan baik dan konsumsi arus yang lebih rendah. *LCD (Liquid Cristal Display)* dot matrik terdiri dari bagian penampil karakter (*LCD*) yang berfungsi untuk menampilkan karakter dan bagian sistem prosesor *LCD* dalam bentuk rangkaian modul dengan mikrokontroler yang diletakan dibagian belakang *LCD* tersebut yang berfungsi untuk mengatur tampilan LCD serta mengatur komunikasi antara LCD dengan mikrokontroler. Modul prosesor pada LCD memiliki memori tersendiri sebagai berikut:*CGROM (Character Generator Read Only Memory,)* CGRAM *(Character Generator Random Access Memory), DDRAM (Display Data Random Access Memory)*.



Gambar 2.8 *LCD (Liquid Crystal Display)* 2×16 [4]

DB0 – DB7 adalah jalur data (*data bus*) sebagai jalur komunikasi dalam mengirimkan dan menerima data atau instruksi dari mikrokontroller ke modul LCD ini. RS yaitu pin yang berfungsi sebagai selektor register *(register sellect)* dimana dengan memberikan logika *low* (0) sebagai *register* perintah dan logika *high* (1) sebagai *register* data. R/W adalah pin dengan fungsi menentukan mode baca atau tulis dari data yang terdapat pada DB0 – DB7, yaitu dengan memberikan logika *low* (0) untuk fungsi *read* dan logika *high* (1) untuk mode *write*. Pin *Enable* (E), berfungsi sebagai *Enable Clock* LCD, berlogika 1 setiap kali pengiriman atau pembacaan data.

2.8 Komunikasi Serial

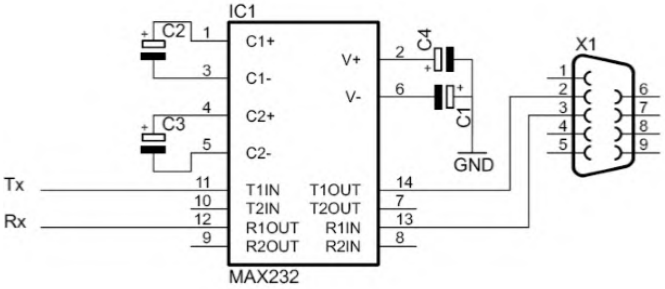
Komunikasi serial yang digunakan menggunakan sistem USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver and Transmitter*), berikut beberapa keuntungan dari sistem USART:

a. Operasi *full duplex*.
b. Mode operasi asinkron dan sinkron.
c. Mendukung komunikasi multiprosesor .
d. Mode kecepatan transmisi berorde hingga 2,5 Mbps.[4]

Komunikasi serial ini digunakan untuk mengkomunikasikan alat ukur konduktivitas termal dengan komputer sehingga data yang diperoleh dapat langsung dicatat oleh komputer untuk proses lebih lanjut. Keuntungan menggunakan komputer adalah untuk menghemat pekerjaan jika pengukuran yang dilakukan berulang-ulang. Namun tentu saja untuk komunikasi yang baik dan dengan *error* minimal perlu sebuah proses yang lebih dari hanya mengerjakan *shift register*. Akhirnya IBM-PC membuat beberapa langkah. Yakni menentukan standar Bit rate masing-masing system yang terhubung. Bit rate ini kemudian juga umum disebut dengan *baudrate*. Walaupun sebenarnya berbeda. Dengan kata lain ke 2 alat harus sama-sama mengerti bahwa data yang sedang ditransfer berjumlah sekian bit per detik, dengan tujuan alat yang lain (penerima). Bit Rate adalah kecepatan dan jumlah transfer bit data

dalam 1 detik. Bit dalam hal ini adalah bit data. Jika data adalah byte maka tentu saja terdapat 8-bit. Sedang baud rate adalah hampir sama, yakni kecepatan transfer bit data *frame* dalam 1 detik. Bit dalam hal ini meliputi jumlah semua bit termasuk dengan start bit, data bit, paritas, dan stop bit. *Baudrate* sangat lekat dengan komunikasi serial. Terutama yang berjenis *asynchronous* seperti komunikasi serial standar RS-232.

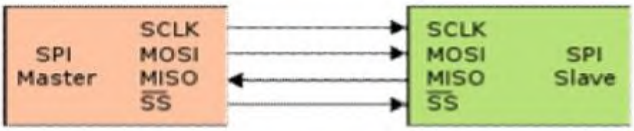
Gambar 2.9 RS 232[6]



Gambar 2.10 *Wiring* RS232 dengan Mikrokontroler[8]

2.9 *Serial Peripheral Interface*

Serial Peripheral Interface Bus atau SPI bus adalah standar komunikasi sinkron data serial yang dikenalkan oleh Motorola yang bekerja pada mode *full duplex*. SPI merupakan *high-speed synchronous* serial input/output (I/O) port yang memungkinkan untuk pengaturan lebar data yang akan digeser masuk atau keluar dari device dan juga memungkinkan pengaturan pada kecepatan transfer data. Device yang dikomunikasikan menggunakan SPI dibedakan dalam *master* dan *slave mode*.



Gambar 2.11 Blok diagram antarmuka SPI *single master single slave*[15]

Keterangan:

1. SCK / CLK — *Serial Clock* (*output* dari *master*)
2. SDI / DI / SI — *Serial Data In*
3. SDO / DO / SO — *Serial Data Out*
4. nCS / CS / nSS / STE — *Chip Select*, *Slave Transmit Enable* (*active low*, *output* dari *master*)

2.10 SD/MMC

Secure Digital (SD) atau disebut *Multi Media Card* (MMC) seringkali digunakan sebagai sarana penyimpan data pada *Personal Digital Assistant* (PDA), kamera digital, dan telepon seluler (ponsel). Beberapa perintah dasar untuk SD *Card* juga dapat digunakan untuk MMC sehingga kita dapat menggunakan SD atau MMC. Format data pada SD maupun MMC umumnya menggunakan format FAT. FAT12 digunakan untuk kapasitas 16 MB ke bawah. FAT16 digunakan untuk kapasitas 32 MB hingga 2 GB. FAT32 digunakan untuk kapasitas di atas 2 GB (SDHC)[13].

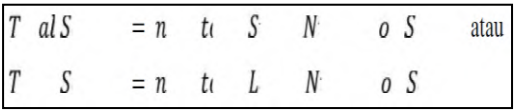
Ada 2 bagian yang akan dijelaskan secara singkat pada AN ini, yaitu:

1. Protokol komunikasi SD card secara SPI.
2. Format data FAT16.

SD *Card* terbagi atas sektor-sektor dan tiap satu sektornya berisi 512 *byte*. Secara default, proses baca atau tulis selalu melibatkan satu sektor (512 *byte*). Secara default juga, nilai *byte* CRC bersifat *don't care* sehingga nilainya sembarang / dapat diabaikan (tidak dihitung).

Dilakukan perhitungan sebagai berikut untuk mengetahui tipe FAT yang digunakan pada gambar 2.12 dan persamaan 2.3

$$Clusters = \frac{Total\ Sector - (Data\ Region - Boot\ Sector}{Sector\ per\ Cluster} \quad (2.3)$$



Gambar 2.12 perhitungan tipe FAT

Cluster adalah satuan sistem FAT yang terkecil dari penyimpanan data. Satu cluster terdiri atas satu nomor tertentu dari *disk sector*, catatan-catatan FAT berisi cluster yang dipakai dan tidak terpakai dan file-file diletakan di dalam *cluster*. File sistem FAT mendukung ukuran partisi sampai dengan 2 GB, tetapi hanya menyediakan maksimal 65.525 *cluster*. Oleh karena itu, apapun ukuran *harddisk* atau partisi nomor s*ector* dalam satu cluster haruslah cukup besar. Sehingga semua ruang yang ada dapat dimasuki sampai 65.525 cluster. Pada umumnya, cluster yang besar cenderung lebih banyak membuang tempat dai pada *cluster* yang kecil. File sistem FAT digunakan juga pada sumber direktori, direktori ini maksimal membolehkan nomor yang masuk dan mungkin terletak pada tempat tertentu pada disk atau partisi. Sistem operasi yang digunakan file sistem FAT menunjukan sumber direktori dengan karakter *slash* terbalik (\).

Untuk mempermudah antarmuka antara SD Card atau MMC dan mikrokontroller dengan tegangan kerja +5 VDC. SD Card

atau MMC dapat digunakan sebagai memori yang dapat diganti dengan mudah sehingga memudahkan dalam ekspansi ke kapasitas memori yang lebih besar. Tersedia Ferroelectric Nonvolatile RAM (FRAM) yang dapat digunakan sebagai buffer sementara dalam mengakses SD Card atau MMC dan sebagai tempat penyimpan data lain. Modul ini dapat digunakan antara lain sebagai penyimpan data pada sistem absensi, sistem antrian, atau aplikasi data logging lainnya.

Gambar 2.13 Modul SD *Card* atau MMC

2.11 Microsoft Visual Studio

Microsoft visual studio 2010 atau biasa di sebut VB .Net 2010 merupakan salah satu aplikasi yang sering digunakan oleh para programmer yang sifatnya berbasis windows.

Microsoft Visual Studio selain disebut sebagai sebuah bahasa pemrograman, juga disebut sebagai sarana (tool) untuk menghasilkan program-program aplikasi berbasiskan Windows. Beberapa kemampuan atau manfaat dari Visual Basic di antaranya seperti :

1. Untuk membuat program aplikasi berbasis Windows.
2. Untuk membuat objek-objek pembantu program seperti misalnya kontrol ActiveX, file help, aplikasi internet, dan sebagainya.
3. Menguji program (*debugging*) dan menghasilkan program akhir berakhiran EXE yang bersifat *executable* atau dapat langsung dijalankan.

Visual Basic adalah perangkat lunak yang berjalan di atas platform sistem operasi Microsoft Windows. Didalam program Visual Basic ini akan digunakan sebagai tampilan pada monitoring kecepatan, arus, tegangan pada *Miniplant* PLTM dengan membuat program dari data yang keluar dari sensor dibaca dalam mikrokontroller kemudian dapat diintegrasikan dalam program ini dan tersimpan dalam database sehingga semuanya terintegrasi dengan baik.

2.12 MySQL

MySQL adalah sebuah implementasi dari sistem manajemen basisdata relasional (RDBMS) yang didistribusikan secara gratis dibawah lisensi GPL (General Public License). Setiap pengguna dapat secara bebas menggunakan MySQL, namun dengan batasan perangkat lunak tersebut tidak boleh dijadikan produk turunan yang bersifat komersial. MySQL sebenarnya merupakan turunan salah satu konsep utama dalam basisdata yang telah ada sebelumnya SQL (Structured Query Language). SQL adalah sebuah konsep pengoperasian basisdata, terutama untuk pemilihan atau seleksi dan pemasukan data, yang memungkinkan pengoperasian data dikerjakan dengan mudah secara otomatis.

Kehandalan suatu sistem basisdata (DBMS) dapat diketahui dari cara kerja pengoptimasi-nya dalam melakukan proses perintah-perintah SQL yang dibuat oleh pengguna maupun program-program aplikasi yang memanfaatkannya. Sebagai peladen basis data, MySQL mendukung operasi basisdata transaksional maupun operasi basisdata non-transaksional. Pada modus operasi non-transaksional, MySQL dapat dikatakan unggul dalam hal unjuk kerja dibandingkan perangkat lunak peladen basisdata kompetitor lainnya. Namun pada modus non-transaksional tidak ada jaminan atas reliabilitas terhadap data yang tersimpan, karenanya modus non-transaksional hanya cocok untuk jenis aplikasi yang tidak membutuhkan reliabilitas data seperti aplikasi blogging berbasis web (*wordpress*), CMS, dan sejenisnya. Untuk kebutuhan sistem yang ditujukan untuk bisnis

sangat disarankan untuk menggunakan modus basisdata transaksional, hanya saja sebagai konsekuensinya unjuk kerja MySQL pada modus transaksional tidak secepat unjuk kerja pada modus non-transaksional.

2.12 Karakteristik Alat Ukur

Setiap Instrumen ukur mempunyai karakteristik yang melekat padanya. Terdapat dua karakteristik instrument ukur yang digunakan, yaitu karakteristik statik dan karakteristik dinamik. Karakteristik statis instrumen merupakan hubungan antara output sebuah elemen (instrumen) dengan inputnya ketika inputnya konstan maupun berubah perlahan.[3]

Karakteristik statis tidak bergantung pada waktu. Yang termasuk dalam karakteristik statis, yaitu :

a. Range adalah nilai minimum hingga maksimum suatu elemen. Range terdiri dari range input dan range output. Misalnya termocouple mempunyai range input 0° C - 250° C dan output range 5-20 mV.

b. Span merupakan selisih nilai maksimum dengan nilai minimum. Span terdiri dari span input dan span output. Contoh termokopel yang mempunyai range input 0°C-250° C dan range output 5-20 mV span inputnya 250° C, span outputnya 15 mV.

c. Linieritas adalah pengukuran dapat dikatakan ideal saat hubungan antara input pengukuran (nilai sesungguhnya) dengan output pengukuran (nilai yang ditunjukkan oleh alat) berbanding lurus. Linieritas merupakan hubungan nilai input dan output alat ukur ketika terletak pada garis lurus. Garis lurus ideal merupakan garis yang menghubungkan titik minimum input/output dengan titik maksimum *input* atau *output*. Berikut merupakan persamaan mencari linieritas:

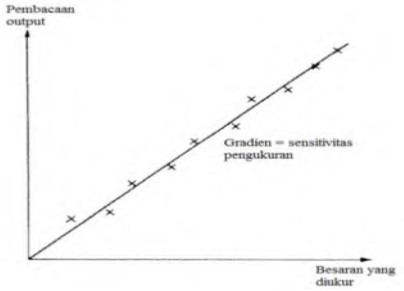
$$Oideal = KI + a \quad (2.4)$$

Nilai K didapat dari persamaan 2.5

$$K = \frac{Omax - Omin}{Imax - Imin} \quad (2.5)$$

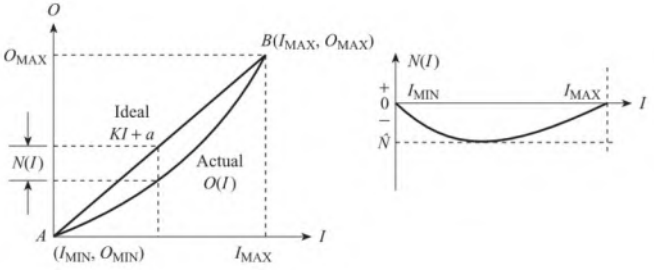
a adalah pembuat nol (zero bias), dapat dihitung dengan persamaan 2.3:

$$a = O_{min} - KI_{min} \quad (2.6)$$



Gambar 2.14 Karakteristik *Output* Instrumen Linier[3]

d. Non – Linieritas, dalam beberapa keadaan, bahwa dari persamaan linieritas muncul garis yang tidak lurus yang biasa disebut non-linier atau tidak linier. Didalam fungsi garis yang tidak linier ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* atau nyata dengan garis lurus idealnya.



Gambar 2.15 Grafik Non Linieritas[3]

Persamaan non linieritas sebagai berikut :

$$\widehat{N} = \frac{[O-KI+a]max}{0max-Omin}100\% \quad (2.7)$$

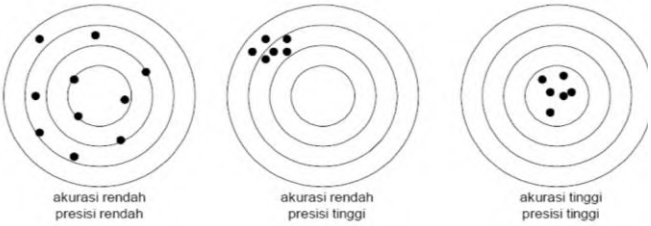
e. Sensitivitas diartikan seberapa peka sebuah sensor terhadap besaran yang diukur. Sensitivitas juga bisa diartikan sebagai perubahan output alat dibandingkan perubahan input dalam satu satuan. Untuk instrumen tidak linier berlaku persamaan 2.5.

$$dO/_{dI} = K + \frac{dN}{dI} \quad (2.8)$$

f. Resolusi merupakan perubahan terbesar dari input yang dapat terjadi tanpa adaya perubahan pada output. Suatu alat ukur dapat dikatakan mempunyai resolusi tinggi saat mampu mengukur dengan ketelitian yang lebih kecil. Misalkan, alat ukut yang mampu mengukur perubahan dalam mV mempunyai resolusi yang lebih tinggi dibanding alat ukur yang mengukur perubahan dalam skala volt.

g. Akurasi merupakan ketepatan alat ukur untuk memberikan nilai pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya. Karena pada eksperimen nilai sebenarnya tidak pernah diketahui, oleh sebab itu menggunakan nilai standar yang diakui secara konvensional.

h. Presisi adalah kemampuan instrument atau elemen untuk menampilkan nilai yang sama pada pengukuran berulang singkat.



Gambar **2.16** Penjelasan Akurasi dan Presisi[3]

i. Ketidakpastian adalah suatu parameter yang berhubungan dengan hasil pengukuran yang mengkarakteristikan (memberikan sifat) penyebaran nilai-nilai layak yang dikaitkan pada besaran ukur. Nilai ketidakpastian diantaranya ketidakpastian tipe A, metode evaluasi ketidakpastian baku tipe A dengan analisa statistik dari serangkaian pengamatan. Rumus ketidakpastian tipe A sebagai berikut :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.9)$$

Keterangan :
n = Jumlah data
σ = Standar Deviasi
Untuk standar deviasi dirumuskan sebagai berikut :

$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{\sqrt{\Sigma(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \quad (2.10)$$

Selanjutnya menghitung ketidakpastian regresi dengan rumus sebagai berikut :

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \quad (2.11)$$

Dimana :
SSR *(Sum Square Residual)* = ΣSR(*Square Residual*)

$$SR = R^2 \text{ (}Residu\text{)} \quad (2.12)$$

$$Y_i = t_i - x_i \quad (2.13)$$

$$Y_{reg} = a + (b\ x\ ti) \quad (2.14)$$

$$a = \bar{y_l} - (b\ x\ \bar{t_l}) \quad (2.15)$$

$$b = \frac{n.\Sigma t_i y_i - \Sigma y.\Sigma t_i}{n.\ \Sigma {t_i}^2 - (\Sigma t_i)^2} \quad (2.16)$$

Dimana :
ti = Pembacaan standar

xi = Pembacaan alat
yi = nilai koreksi

Ketidakpastian tipe B didapatkan dengan cara selain analisa statistik dari serangkaian pengamatan. Rumus ketidakpastian tipe B sebagai berikut :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} x\ Resolusi}{\sqrt{3}} \quad (2.17)$$

$$U_{B2} = \frac{a}{k} \quad (2.18)$$

Dimana :
U_{B1} = Ketidakpastian resolusi
U_{B2} = Ketidakpastian dari alat standar atau kalibrator

Ketidakpastian gabungan didapat dari hasil pengukuran, bila hasil pengukuran diperoleh dari nilai sejumlah besaran lain, ketidakpastian baku gabungan bernilai sama dengan dengan akar kaudrat positif dari jumlah semua suku yang merupakan varian atau kovarian bersamaan tersebut telah diberi bobot atau hasil pengukuran bervariasi terhadap perubahan besaran tersebut. Rumus ketidakpastian kombinasi sebagai berikut :

$$U_c = \sqrt{U_{AI}^{\ 2} + U_{A2}^{\ 2} + U_{B1}^{\ 2} + U_{B2}^{\ 2}} \quad (2.19)$$

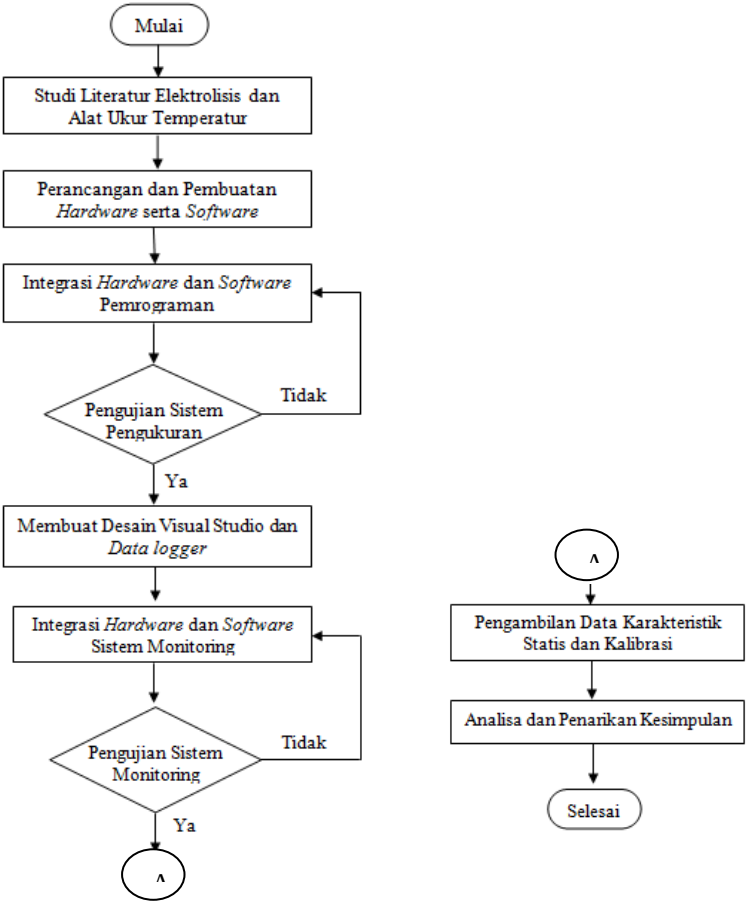
Ketidakpastian bentangan adalah besaran yang mendefisikan interval disekitar hasil pengukuran yang diharapkan mencakup sebagian besar distribusi nilai dapat diberikan pada besaran ukur.

$$U_{exp} = k\ x\ U_c \quad (2.20)$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Diagram Alir (*Flowchart*)



Gambar 3.1. *Flowchart* perancangan pembuatan tugas akhir

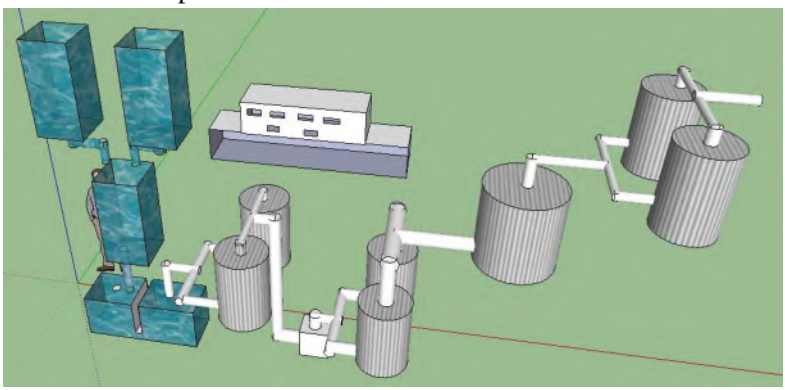
3.2 Keterangan *Flowchart*

3.2.1 Studi Literatur Elektrolisis dan Alat Ukur Temperatur

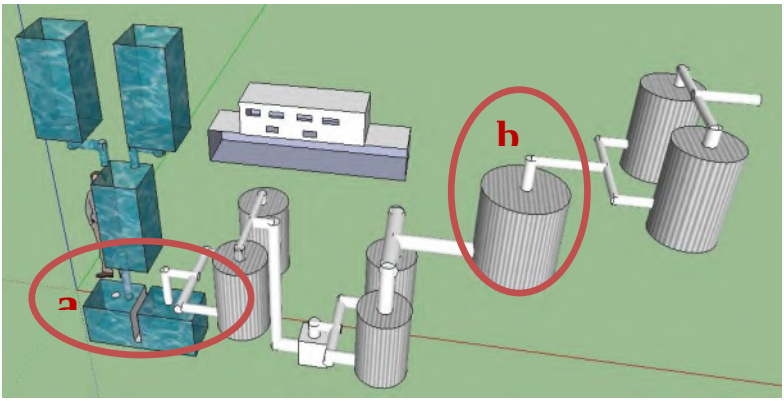
Mempelajari literatur dari penelitian – penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya mengenai sistem elektrolisis, elektroda dan pembuatan alat ukur temperatur serta proses monitoring dan akuisisi data. Selain belajar sistem pada perancangan alat ukur, juga mencari literatur – literatur yang berkaitan dengan elemen-elemen yang digunakan dalam desain mekanik sistem elektrolisis air agar dicapai hasil optimal, mempelajari karakteristik dan *datasheet* sensor serta pembuatan *database* sistem monitoirng.

3.2.2 Perancangan dan Pembuatan *Hardware* dan *Software*

Rancang bangun sistem elektrolisis air terdiri dari enam bagian, yakni *mixing proses* KOH dan *aquades*, proses elektrolisis untuk memisahkan oksigen dan higrogen, kemudian *liquid trap*, setelah itu masuk ke hidrgen *storage*, setelah disimpan dilakukan *mixing* hidrogen dengan biogas, dan terakhir *storage* hidrogen dan biogas. Desain rancang bangun sistem elektrolisis air pada Gambar 3.2

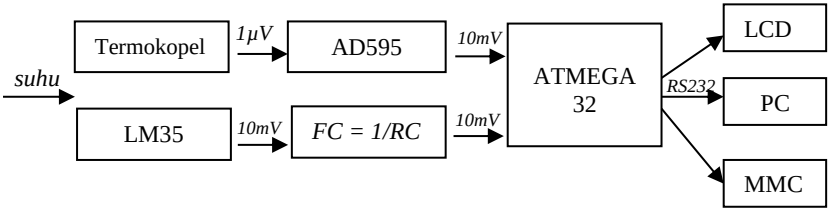


Gambar 3.2 Desain Rancang Bangun Sistem Elektrolis Air



Gambar 3.3. Peletakan sensor Termokopel (a) dan LM35 (b) pada *plant* Elektrolis

Pada perancangan sistem monitoring temperatur ini terdapat diagram blok pengukuran. Berikut merupakan diagram blok sistem monitoring temperatur pada gambar 3.4



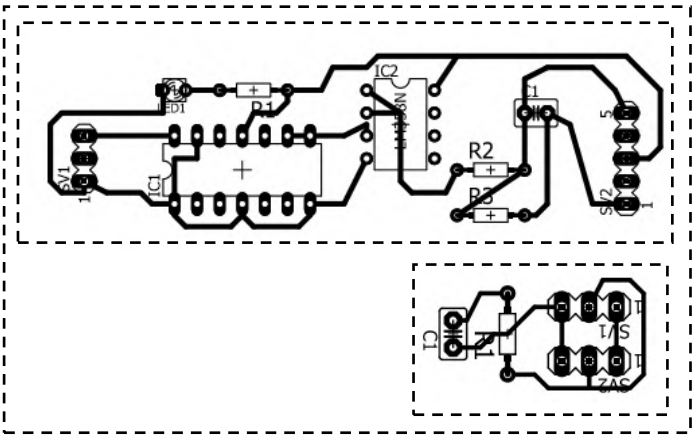
Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem Monitoring

Diagram blok tersebut menjelaskan menganai alur pengukuran yang dilakukan oleh sensor. Mulai dari input berupa temperatur, sensor (*sensing element*) yakni LM35 dan termokopel, pengkodisian sinyal (*signal conditioning element*) yakni AD595 dan *frekuensi cut off*, pemrosesan sinyal (*signal processing element*) yakni mikrokontroler ATMEGA32, dan

penampil data (*data presentation element*) yakni LCD dan PC, serta penyimpanan data monitoring melalui SD *Card.*

a. Perancangan dan Pembuataan Alat (*Hardware*)

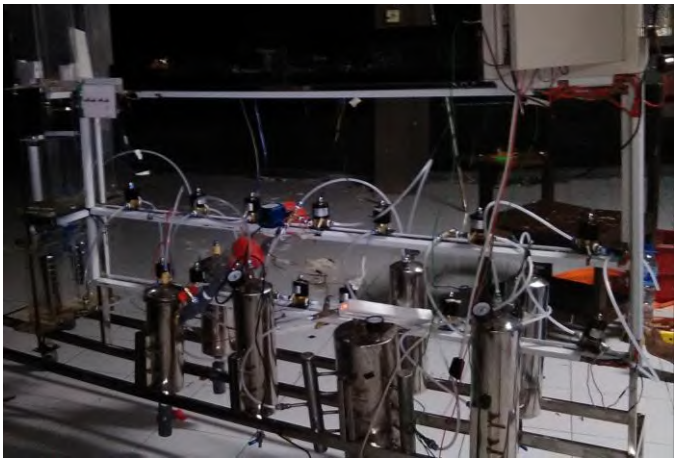
Alat ukur temperatur menggunakan 2 sensor yakni termokopel tipe K dan LM35. Termokopel tipe K mempunyai sensitivitas sebesar 41µV/^{o}C. Tegangan masukan dari termokopel ke mikrokontroler sangat kecil sehingga dibutuhkan penguat tegangan yakni menggunakan IC AD595, tegangan yang masuk ke AD595 diperkuat hingga 247,3 kali sehingga dapat mengeluarkan *output* 10mV/ ^{o}C, untuk menghindari *loss* maka ditambah LM358, serta penambahan kapasitor untuk menstabilkan tegangan keluaran yang masuk pada mikrokontroler. Sedangkan untuk LM35 kaki *output* pada LM35 diparalel dengan resistor dan kapasitor sebagai *frekuensi cut off* atau pentasbil *output* tegangan ke mikrokontroler. Skematik rangkaian modul sensor termokopel dan LM35 dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Skematik Rangkaian Modul Termokopel tipe K dan LM 35 pada *Software* EAGLE

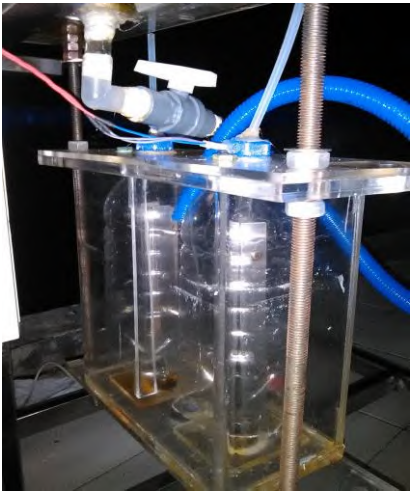
Skematik diatas kemudian di print pada *board* PCB dan hasilnya pada gambar 3.6

Gambar 3.6 Modul termokopel tipe K dan LM35



Gambar 3.7 Plan Elektrolisis Air

Gambar 3.8 Peletakan Sensor Termokopel pada Plant Elektrolisis Air



Gambar 3.9 Peletakan Sensor LM 35 pada Plant Elektrolisis Air

b. Perancangan dan Pembuataan Alat (*Software*)

Perancangan *software* pada tahap ini merupakan siklus gabungan untuk rangkaian pemrosesan sinyal. Rangkaian pemrosesan sinyal pada alat ini menggunakan ATMega32. Untuk membuat program pada ATMega32, dibutuhkan *software CodeVisionAVR.* Pada program ini, akan diberikan *coding* untuk mengolah sinyal masukan.

3.2.3 Integrasi *Hardware* dan *Software* Pemrograman

Ketika *coding* program sudah jadi maka dilakukan pengintegrasian antara *hardware* dengan *software*. Didalam *software* khazama dilakukan penyamaan mikrokontroler yang digunakan untuk melakukan proses *uploading* program yang ada ke ATMega32.

Penyesuaian *interface* antara *software* CV AVRR dan *hardware* ATMega32 dapat dilihat pada LCD ataupun dan komunikasi serial yang ditampilkan pada *Hyper Terminal* serta dilakukan pengecekan data yang tersimpan pada SD *Card.*

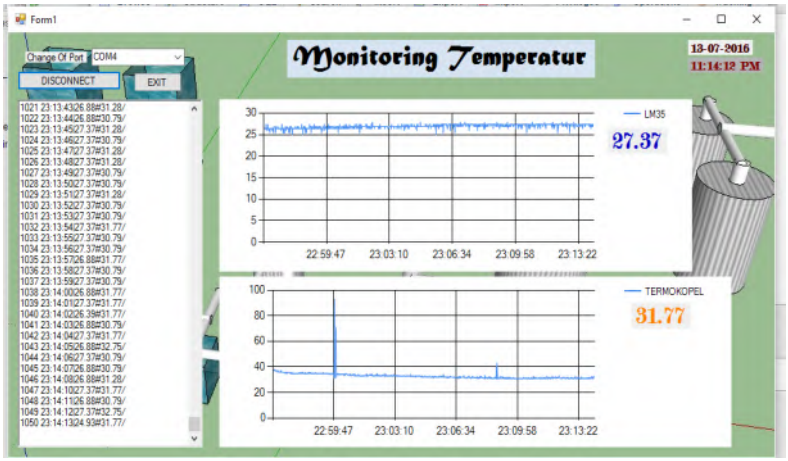
3.2.4 Pengujian Sistem Pengukuran

Pengujian sistem pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui sudah berjalankah atau belum hasil *uploading* program dari software *CV AVR* ke *hardware* ATMega32. Masing – masing dari *sensing element* dicoba untuk mengukur. Jika dari masing – masing *sensing element* masih belum dapat menampilkan data, maka proses pemrograman dan integrasi *software* serta *hardware* perlu diulang.

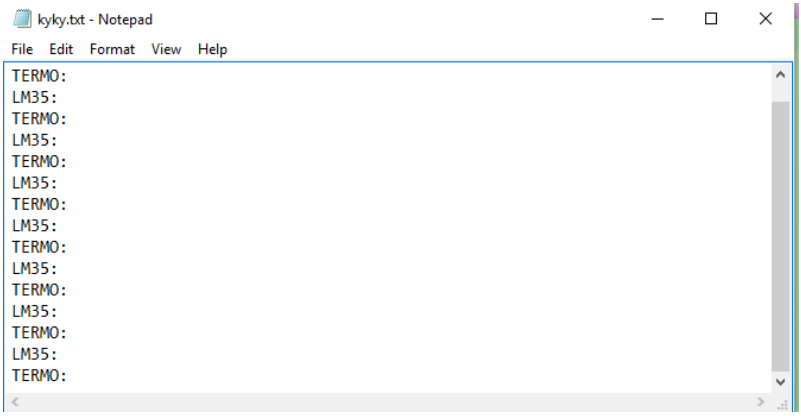
3.2.5 Pembuatan Desain pada Visual Studi dan *Datalogger*

Pada dasarnya, visual stuido ini diguanakan untuk membuat *sotfware* akuisisi data untuk sistem monitoring temperatur. Data

yang akan ditampilkan secara *real time* adalah data pengukuran temperatur oleh termokopel dan LM35. Desain yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Desain *Software* Monitoring pada *Microsoft Visual Studio* 2010



Gambar 3.11 Tampilan Penyimpanan Data pada MMC

3.2.6 Integrasi *Hardware, Software* Sistem Monitoring

Integrasi *hardware* dan *software* pada *visual studio,* sistem penyimpanan *database* pada MySQL dan *datalogger* pada SD *Card*.

3.2.7 Pengambilan Data Karakteristik dan Kalibrasi

Dalam tahap ini merupakan melihat spesifikasi yang dimiliki oleh sistem monitoring yang telah dibuat. Dimana dengan keterangan data tersebut dapat dilihat bagus atau tidaknya performansi karakter sistem monitoring ini. Pada karakteristik statik alat yang dicari yaitu nilai *range*, *span, resolusi, sensitivitas, linieritas, hysteresis,* serta prosentase akurasi. Sedangkan untuk data kalibrasi digunakan untuk mencari nilai ketidakpastian dari hasil pengukuran ketika menggunakan perangkat ini.

3.2.8 Analisis Data dan Penarikan Kesimpulan

Tahap terkahir terdapat analisis data yang dihasilkan dari pembuatan sistem monitoring temperatur, dilakukan penarikkan kesimpulan dari semua elemen yang memperngaruhi data tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV
PENGUJIAN ALAT DAN ANALISIS DATA

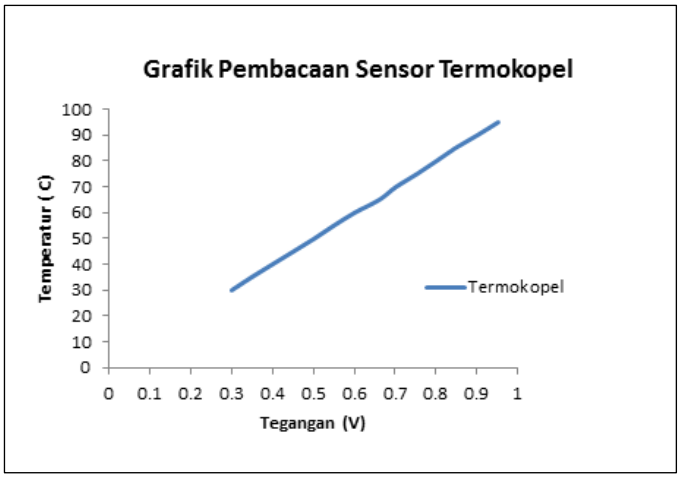
4.1 Pengujian Alat

4.1.1 Karakteristik Stasik Sensor Termokopel tipe K

Pengujian sensor termokopel tipe K dilakukan pada rentang temperatur 30^{o}C - 90 ^{o}C dengan media air. Pada setiap kenaikan, diambil data sebanyak 5 kali pembacaan sensor (data pembacaan sensor termokopel terlampir pada Lampiran C). Alat Standar yang digunakan untuk pembanding adalah Termometer standar. Berikut ini data yang diperoleh dari pengujian alat.

Tabel 4.1 Data Pengujian Termokopel Tipe K

Pembacaan Standar (^{o}C)	Pembacaan Alat		Rata-rata Pembacaan (^{o}C)	Koreksi (^{o}C)
	Naik (^{o}C)	Turun (^{o}C)		
30	30.002	29.738	29.87	0.129
35	34.788	34.93	34.9	0.09
40	39.476	40.03	39.754	0.247
45	44.246	45.27	44.76	0.239
50	49.084	49.076	49.08	0.92
55	54.008	54.26	54.134	0.865
60	59.081	59.121	59.069	0.93
65	64.25	64.292	64.217	0.729
70	69.192	69.159	69.175	0.824
75	74.088	73.698	73.89	1.107
80	78.828	78.536	78.682	1.318
85	83.3	83.694	83.49	1.502
90	88.186	88.89	88.54	1.458
Jumlah				13.18
Rata-rata				1.03



Gambar 4.1 Grafik Pembacaan Sensor Termokopel

Dari Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pembacaan alat sudah mendekati dengan alat standar. Namun, terdapat beberapa titik yang masih terdapat *error* pembacaan.

Berikut ini nilai karakteristik statik sensor termokopel tipe K:

a. Range : 30^oC - 90^oC
b. Span : 60^oC
c. Resolusi : 0,01
d. Sensitivitas : 0,985 (dapat dilihat pada persamaan 4.1)

$$K(Sensitivitas) = \frac{\Delta O}{\Delta I}$$

$$= \frac{88.89 - 29.738}{90-30} = 0{,}985 \qquad (4.1)$$

e. *Non – Linieritas*

$$\widehat{N} = \frac{[O-KI+a]max}{0max-Omin}\,100\%$$

(4.2)

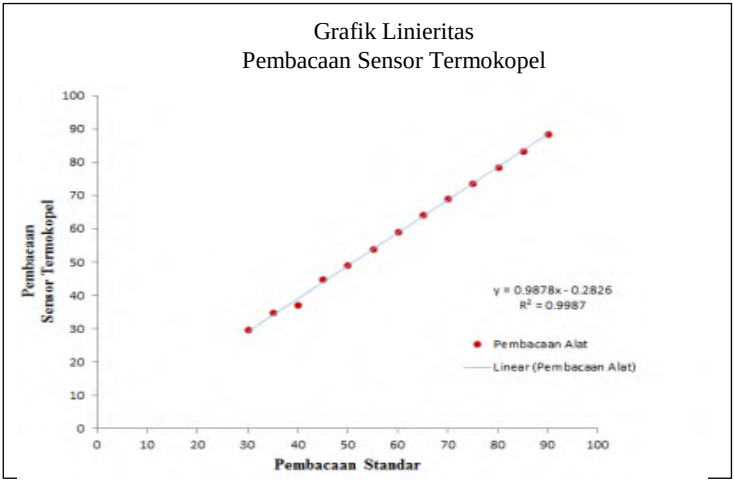
Dimana :

a (*zero bias*) = $O_{min} - KI_{min}$ (4.3)

a = 29,738 – (0,985)(30)

a = 0,188

Sehingga didapatkan non linieritas sebesar 11.15% . Didalam fungsi garis yang tidak linier ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* atau nyata dengan garis lurus idealnya.



Gambar 4.2 Grafik Linieritas Sensor Termokopel

f. Akurasi

$$A = 1 - \left|\frac{Yn-Xn}{Yn}\right| x\ 100\% \quad (4.4)$$

$$A = 1 - |0{,}016|\ x\ 100\% = 98{,}1\%$$

g. Error

e = 1 – A

= 1- 0,981

= 0,019

Persen Error = 0,019 x 100%

= 1,9 %

4.1.2 Kalibrasi Sensor Termokopel tipe K

Berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian alat ukur temperatur pada table 4.1, berikut merupakan perhitungan untuk mencari nilai ketidakpastian alat ukur.

a. Ketidakpasitian Tipe A (U_{a1})

$$\boldsymbol{U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (4.5)$$

Untuk mencari nilai ketidakpastian tipe A (U_{a1}) pertama mencari standar deviasi (σ) dari pembacaan alat ukur yakni jumlah dari nilai koreksi dibagi dengan (*n-1),* dimana n adalah jumlah data atau titik pengujian (dapat dilihat pada persamaan 4.6)

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(\boldsymbol{y_i - \bar{y})^2}}}{\boldsymbol{n-1}} \quad (4.6)$$

$$= 1{,}782$$

Sehingga dari persamaan 4.6 dapat dicari nilai ketidakpastian tipe A (U_{a1}) sebagai berikut :

$$U_{a1} = \frac{1{,}783}{\sqrt{13}} = 0{,}482$$

Nilai Ketidakpastian Regresi (Ua_2)

$$\boldsymbol{U_{a2}} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{SSR}}{\boldsymbol{n-2}}} \quad (4.7)$$

$$Yreg = a + (b\ x\ ti) \quad (4.8)$$

$$a = \overline{y_i} - (b\ x\ \overline{t_i}) \quad (4.9)$$

$$b = \frac{n.\sum t_i y_i - \sum y_. \sum t_i}{n.\ \sum {t_i}^2 - (\sum t_i)^2}$$

$yi = Nilai\ koreksi$

$$b = \frac{(13\ x\ 84684) - (\ 780\ x\ 13{,}18\ )}{(13\ x\ 173{,}71) - (780)^2}$$

$$b = 0{,}987$$

Sehingga nilai :

$$a = 1{,}013 - (0{,}164\ x\ 60)$$
$$a = 0{,}2816$$

Jadi, persamaan regresi menjadi

$$Yreg = (0{,}2816) + (ti\ x\ 0{,}987)$$

Yang menghasilkan nilai SSR = 5,553

$$\boldsymbol{U_{a2}} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{5{,}553}}{\boldsymbol{13-2}}} \quad (4.10)$$

$$\boldsymbol{U_{a2} = 0{,}71}$$

b. Nilai ketidakpastian tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian Resolusi (U_{B1}) dan ketidakpastian alat standar termometer (U_{B2}). Berikut ini adalah perhitungan ketidakpastian tipe B :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2}x\ Resolusi}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{2}x\ 0{,}01}{\sqrt{3}} = 0{,}003 \quad (4.11)$$

$$U_{B2} = \frac{a}{k},$$

dikarenakan pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan dianggap 2,0. Sehingga hasil : $U_{B2} = 0$

c. Nilai ketidakpastian kombinasi U_c :

$$U_c = \sqrt{U_{AI}{}^2 + U_{A2}{}^2 + U_{B1}{}^2 + U_{B2}{}^2} \quad (4.12)$$

$$= \sqrt{0{,}482^2 + 0{,}71^2 + 0{,}003^2 + 0^2}$$

$$= 0{,}8592$$

Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

V = n-1, sehingga :

V1 = 12; V2 = 12; V3 = ∞;

Dengan nilai Veff (Nilai derajat kebebasan effektif) sebagai berikut :

$$Veff = \frac{(U_c)^4}{\Sigma^{(U_i)^4}/_{V_i}} \quad (4.13)$$

$$= \frac{(0{,}8592)^4}{(0{,}482)^4/_{12} + (0{,}71)^4/_{12} + (0{,}003)^4/_{\infty}}$$

Veff = 21,293, sehingga jika dibulatkan menjadi 21, dimana pada table *T-student* menghasilkan nilai k (faktor koreksi) sebesar 1,721

Oleh karena itu, hasil nilai ketidakpastian berulang sebesar :

$$U_{exp} = k\ x\ U_c \qquad (4.14)$$
$$U_{exp} = 1{,}721x\ 0{,}8592 = 1{,}478$$

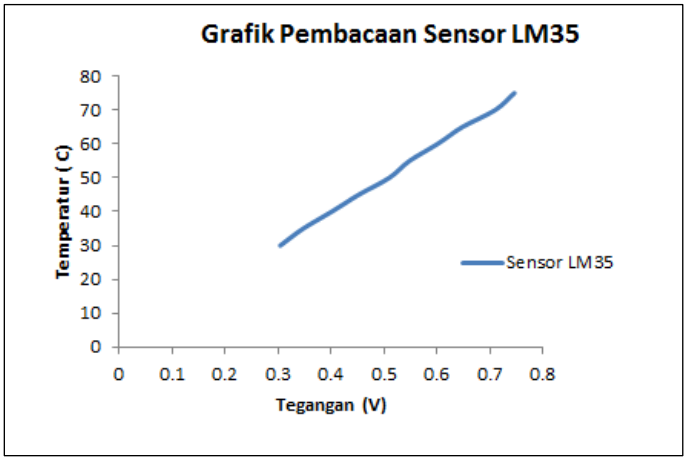
Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar ±1,478 dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukut tersebut digunakan.

4.1.3 Karakteristik Statik Sensor LM35

Karakteristik statik sensor LM35 didapatkan dari perbandingan nilai *output* sensor dengan termometer standar. Pengujian temperatur dilakukan pada rentang temperatur 30^{o}C - 75 ^{o}C. Pada setiap kenaikan, diambil data sebanyak 5 kali pembacaan alat. Alat Standar yang digunakan untuk pembanding adalah Termometer standar (data pembacaan sensor LM35 terdapat pada Lampiran C). Berikut ini data yang diperoleh dari pengujian alat.

Tabel 4.2 Data Pengujian LM 35

Pembacaan Standar (^{o}C)	Rata-rata Pembacaan		Rata-rata Pembacaan (^{o}C)	Koreksi (^{o}C)
	Naik (^{o}C)	Turun (^{o}C)		
30	30.33	30.13	30.23	-0.23
35	34.932	35.45	35.19	-0.19
40	40.484	40.24	40.36	-0.36
45	45.254	45.05	45.15	-0.15
50	50.06	50.17	50.115	-0.115
55	53.396	53.17	53.31	-0.68
60	61.06	61.06	61.06	-1.06
65	66.68	65.28	65.98	-0.98
70	69.858	70.29	70.07	-0.07
75	75.44	75.03	75.22	-0.238
Jumlah				-1.79
Rata-rata				-0.1709



Gambar 4.3 Grafik Pembacaan Sensor LM35

Berikut ini hasil perhitungan nilai karakteristik statik alat ukur temperatur berdasarkan data pada tabel 4.2

a. Range : 30^{o}C - 75 ^{o}C
b. Span : 45 ^{o}C
c. Resolusi : 0,01
d. Sensitivitas : 0,9997 (dilihat pada persamaan 4.15)

$$\text{sensitivitas } = \frac{\Delta O}{\Delta I} = \frac{75.22-30.23}{75-30} = \mathbf{0,9997} \qquad (4.15)$$

e. *Non – Linieritas*

$$\widehat{N} = \frac{[O-KI+a]max}{0max-Omin}\mathbf{100}\% \qquad (4.16)$$

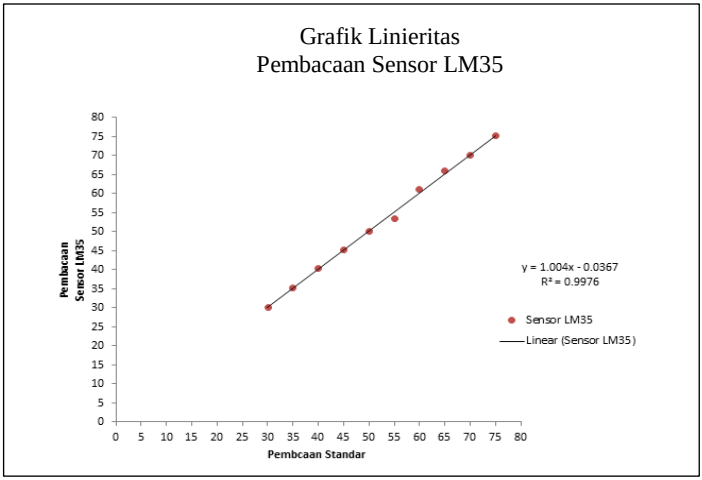
Dimana :

a (*zero bias*) = $O_{min} - KI_{min}$ (4.17)

a = 30,23 – (0,9997)(30)

a = 0,236

Sehingga didapatkan non linieritas sebesar 3.6%. Didalam fungsi garis yang tidak linier ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* atau nyata dengan garis lurus idealnya.



Gambar 4.4 Grafik Linieritas Sensor LM35

f. Akurasi :

$$A = 1 - \left| \frac{Yn - Xn}{Yn} \right| x\ 100\% \qquad (4.18)$$

$$A = 1 - \left| 0{,}00323 \right| x\ 100\% = 99{,}67\%$$

g. Error :

e = 1- A (4.19)

= 1 – 0.9967

= 0,0033

Persen Error = 0,0033 x 100%

= 0,33 %

4.1.4 Kalibrasi Sensor LM35

Berikut merupakan perhitungan ketidakpastian alat ukur berdasarkan tabel 4.2.

a. Nilai ketidakpastian tipe A

$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{\sqrt{\sum(\boldsymbol{y_i}-\bar{\boldsymbol{y}})^2}}{\boldsymbol{n-1}} \quad (4.20)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{0,714}$$

Sehingga nilai ketidakpastian tipe A adalah :

$$\boldsymbol{U_{a1}} = \frac{\boldsymbol{\sigma}}{\sqrt{\boldsymbol{n}}} \quad (4.21)$$

$$\boldsymbol{U_{a1}} = \frac{\mathbf{0,714}}{\sqrt{\mathbf{10}}} = \mathbf{0,225}$$

Sedangkan nilai ketidakpastian regresi U_{a2} adalah

$$\boldsymbol{U_{a2}} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{SSR}}{\boldsymbol{n-2}}} \quad (4.22)$$

$$Yreg = a + (b\ x\ ti) \quad (4.23)$$

$$a = \bar{y_i} + (b\ x\ \bar{t_i}) \quad (4.24)$$

$$b = \frac{n.\sum t_i y_i - \sum y.\sum t_i}{n.\ \sum {t_i}^2 - (\sum t_i)^2}; \quad (4.25)$$

$$b = \frac{(10\ x - 97{,}88) - (-1.709x\ 525\ )}{(10\ x\ 275625) - (525)^2}$$

$$b = -0{,}0039$$

Sehingga nilai :

$$a = (-0{,}179) - (-0{,}0039\ x\ 5{,}25)$$
$$a = 0{,}036$$

Jadi, persamaan regresi menjadi

$$Yreg = (-0{,}179) + (ti\ x(-0{,}0039))$$

Yang menghasilkan nilai SSR = 4,918

$$\boldsymbol{U_{a2}} = \sqrt{\frac{\mathbf{4{,}918}}{\mathbf{10-2}}} \qquad (4.26)$$

$$U_{a2} = 0{,}784$$

b. Nilai ketidakpastian tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastia, yaitu ketidakpastian Resolusi (U_{B1}) dan ketidakpastian alat standar termometer (U_{B2}). Berikut ini adalah perhitungan ketidakpastian tipe B :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2}x\ Resolusi}{\sqrt{3}} \qquad (4.27)$$

$$= \frac{\frac{1}{2}x\ 0{,}01}{\sqrt{3}} = 0{,}003$$

$$U_{B2} = \frac{a}{k}, \qquad (4.28)$$

dikarenakan pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan dianggap 2,0. Sehingga hasil : $U_{B2} = 0$

c. Nilai ketidakpastian kombinasi U_c :

$$U_c = \sqrt{U_{AI}{}^2 + U_{A2}{}^2 + U_{B1}{}^2 + U_{B2}{}^2} \qquad (4.29)$$

$$U_c = \sqrt{0{,}234^2 + 0{,}784^2 + 0{,}003^2 + 0^2}$$

$$U_c = 1{,}11$$

Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

V = n-1, sehingga :
V1 = 9; V2 = 9; V3 = ∞

Dengan nilai Veff (Nilai derajat kebebasan effektif) sebagai berikut :

$$Veff = \frac{(U_c)^4}{\Sigma^{(U_i)^4}/_{V_i}} \quad (4.30)$$

$$= \frac{(1{,}11)^4}{(0{,}234)^4/_9 + (0{,}784)^4/_9 + (0{,}003)^4/_\infty}$$

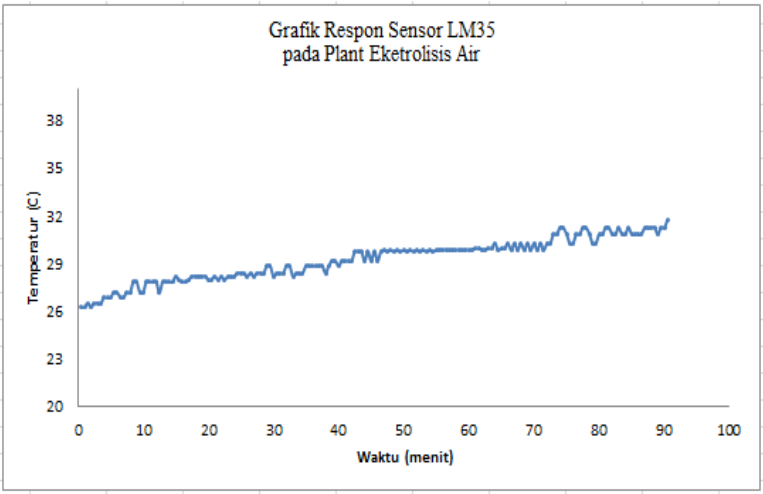
Veff = 37,63 sehingga jika dibulatkan menjadi 56, dimana pada table *T-student* menghasilkan nilai k (faktor koreksi) sebesar 1,687. Oleh karena itu, hasil nilai ketidakpastian diperluang sebesar :

$$U_{exp} = k\ x\ U_c \quad (4.31)$$
$$U_{exp} = 1{,}697\ x\ 1{,}11 = 1{,}88$$

Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar ±1,88 dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukut tersebut digunakan.

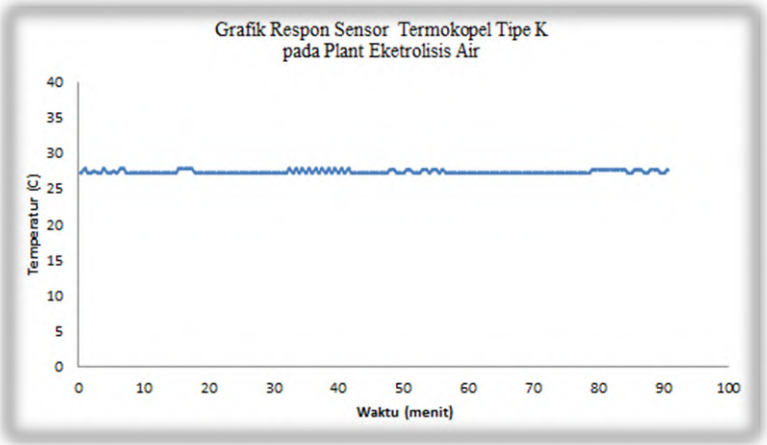
4.2 Analisa Data

Pengujian sensor pada *plant* elektrolisis air dilakukan pembacaan selama 1 jam 30 menit dengan *time sampling* 30 detik. Data pembacaan sensor LM35 dapat dilihat pada Lampiran E dan data pembacaan sensor Termokopel dapat dilihat pada lampiran F. Berikut adalah grafik pembacaan sensor pada gambar 4.5 dan gambar 4.6



Gambar 4.5 Grafik Respon Sensor LM 35 pada Plant Elektrolisis

Berdasarkan Gambar 4.5 titik pengujian sensor berada pada *output* gas higrogen saat porses elektrolisis berlangsung. Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan, kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen. Penggunaan hukum Boyle Gay Lussac atau persamaan gas ideal menjadi dasar untuk mengetahui seberapa besar produksi gas hidrogen. Sistem monitoring temperatur dilakukan untuk mengetahui temperatur setiap derajat per satuan waktu, semakin tinggi temperatur semakin besar pula laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan. Kondisi temperatur pada proses elektrolisis awal sebelum dialiri arus listrik yakni 26.28 ^{o}C dan temperatur maksimal 31. 79 ^{o}C. Pembacaan sensor fruktuatif dengan range kurang dari 2^{o}C. Temperatur cenderung stabil pada suhu 30.30 ^{o}C saat memasuki menit ke 43.



Gambar 4.6 Grafik Respon Sensor Termokopel pada *Plant* Elektrolisis

Berdasarkan Gambar 4.6 sistem monitoring temperatur dilakukan untuk mengetahui temperatur hidrogen untuk masuk ke *mixing proocces* hidrogen dan biogas. Gas hidrogen yang dimonitoring berasal dari hidroge *storage.* Pengambilan data dilakukan dalam waktu 1 jam 30 menit dengan kondisi temperatur cenderung stabil pada range pembacaan 27.3^{o}C-28.3^{o}C. Pembacaan sensor fruktuatif dengan range kurang dari 2^{o}C.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

***Datasheet* LM35**

November 2000

National Semiconductor

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 ° 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 ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full −55 to +150°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 µA 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°C temperature range, while the LM35C is rated for a −40° to +110°C range (−10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full −55° to +150°C range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than 60 µA current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only ±¼°C typical
- Low impedance output, 0.1 Ω for 1 mA load

Typical Applications

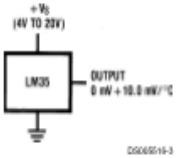
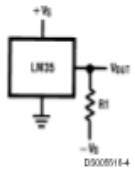


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu A$

V_{OUT} = +1,500 mV at +150°C
= +250 mV at +25°C
= −550 mV at −55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

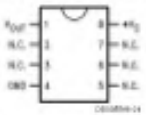
Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*

*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



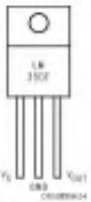
N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

TO-92
Plastic Package

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

TO-220
Plastic Package*



*Tab is connected to the negative pin (GND).
Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM350T.

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˚C	±0.2	±0.5		±0.2	±0.5		˚C
	T_A=−10˚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}≤T_A≤T_{MAX}	**±0.18**		**±0.35**	**±0.15**		**±0.3**	˚C
Sensor Gain (Average Slope)	T_{MIN}≤T_A≤T_{MAX}	**+10.0**	**+9.9, +10.1**		**+10.0**		**+9.9, +10.1**	mV/˚C
Load Regulation (Note 3) 0≤I_L≤1 mA	T_A=+25˚C	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		mV/mA
	T_{MIN}≤T_A≤T_{MAX}	**±0.5**		**±3.0**	**±0.5**		**±3.0**	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	T_A=+25˚C	±0.01	±0.05		±0.01	±0.05		mV/V
	4V≤V_S≤30V	**±0.02**		**±0.1**	**±0.02**		**±0.1**	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	V_S=+5V, +25˚C	56	67		56	67		µA
	V_S=+5V	**105**		**131**	**91**		**114**	µA
	V_S=+30V, +25˚C	56.2	68		56.2	68		µA
	V_S=+30V	**105.5**		**133**	**91.5**		**116**	µA
Change of Quiescent Current (Note 3)	4V≤V_S≤30V, +25˚C	0.2	1.0		0.2	1.0		µA
	4V≤V_S≤30V	**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°C	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		°C
	T_A=−10°C	±0.5			±0.5		±1.5	°C
	T_A=T_{MAX}	±0.8	±1.5		±0.8		±1.5	°C
	T_A=T_{MIN}	±0.8		±1.5	±0.8		±2.0	°C
Accuracy, LM35D (Note 7)	T_A=+25°C				±0.6	±1.5		°C
	T_A=T_{MAX}				±0.9		±2.0	°C
	T_A=T_{MIN}				±0.9		±2.0	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$	±0.3		±0.5	±0.2		±0.5	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \le I_L \le 1$ mA	T_A=+25°C	±0.4	±2.0		±0.4	±2.0		mV/mA
	$T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$	±0.5		±5.0	±0.5		±5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	T_A=+25°C	±0.01	±0.1		±0.01	±0.1		mV/V
	$4V \le V_S \le 30V$	±0.02		±0.2	±0.02		±0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	V_S=+5V, +25°C	56	80		56	80		µA
	V_S=+5V	105		158	91		138	µA
	V_S=+30V, +25°C	56.2	82		56.2	82		µA
	V_S=+30V	105.5		161	91.5		141	µA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \le V_S \le 30V$, +25°C	0.2	2.0		0.2	2.0		µA
	$4V \le V_S \le 30V$	0.5		3.0	0.5		3.0	µA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	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

Note 1. Unless otherwise noted, these specifications apply: −55°C ≤ T_J ≤ +150°C for the LM35 and LM35A; −40°C ≤ T_J ≤ +110°C for the LM35C and LM35CA; and 0°C ≤ T_J ≤ 100°C for the LM35D. V_S=+5Vdc and I_{LOAD}=50 µA, in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from +2°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°C/W, junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90°C/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 10mV/°C times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °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 kΩ 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.

DATASHEET **AD595**

ANALOG DEVICES

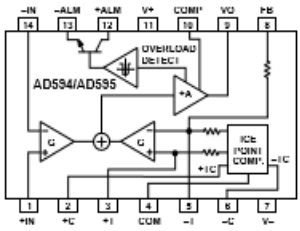
Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation

AD594/AD595

FEATURES

Pretrimmed for Type J (AD594) or Type K (AD595) Thermocouples
Can Be Used with Type T Thermocouple Inputs
Low Impedance Voltage Output: 10 mV/°C
Built-In Ice Point Compensation
Wide Power Supply Range: +5 V to ±15 V
Low Power: <1 mW typical
Thermocouple Failure Alarm
Laser Wafer Trimmed to 1°C Calibration Accuracy
Setpoint Mode Operation
Self-Contained Celsius Thermometer Operation
High Impedance Differential Input
Side-Brazed DIP or Low Cost Cerdip

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



PRODUCT DESCRIPTION

The AD594/AD595 is a complete instrumentation amplifier and thermocouple cold junction compensator on a monolithic chip. It combines an ice point reference with a precalibrated amplifier to produce a high level (10 mV/°C) output directly from a thermocouple signal. Pin-strapping options allow it to be used as a linear amplifier-compensator or as a switched output setpoint controller using either fixed or remote setpoint control. It can be used to amplify its compensation voltage directly, thereby converting it to a stand-alone Celsius transducer with a low impedance voltage output.

The AD594/AD595 includes a thermocouple failure alarm that indicates if one or both thermocouple leads become open. The alarm output has a flexible format which includes TTL drive capability.

The AD594/AD595 can be powered from a single ended supply (including +5 V) and by including a negative supply, temperatures below 0°C can be measured. To minimize self-heating, an unloaded AD594/AD595 will typically operate with a total supply current 160 μA, but is also capable of delivering in excess of ±5 mA to a load.

The AD594 is precalibrated by laser wafer trimming to match the characteristic of type J (iron-constantan) thermocouples and the AD595 is laser trimmed for type K (chromel-alumel) inputs. The temperature transducer voltages and gain control resistors are available at the package pins so that the circuit can be recalibrated for the thermocouple types by the addition of two or three resistors. These terminals also allow more precise calibration for both thermocouple and thermometer applications.

The AD594/AD595 is available in two performance grades. The C and the A versions have calibration accuracies of ±1°C and ±3°C, respectively. Both are designed to be used from 0°C to +50°C, and are available in 14-pin, hermetically sealed, side-brazed ceramic DIPs as well as low cost cerdip packages.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD594/AD595 provides cold junction compensation, amplification, and an output buffer in a single IC package.
2. Compensation, zero, and scale factor are all precalibrated by laser wafer trimming (LWT) of each IC chip.
3. Flexible pinout provides for operation as a setpoint controller or a stand-alone temperature transducer calibrated in degrees Celsius.
4. Operation at remote application sites is facilitated by low quiescent current and a wide supply voltage range +5 V to dual supplies spanning 30 V.
5. Differential input rejects common-mode noise voltage on the thermocouple leads.

AD594/AD595—SPECIFICATIONS (@ +25°C and V_S = 5 V, Type J (AD594), Type K (AD595) Thermocouple, unless otherwise noted)

Model	ADxxxA			ADxxxC			ADxxxA			ADxxxC			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
ABSOLUTE MAXIMUM RATING													
$+V_S$ to $-V_S$			36			36			36			36	Volts
Common-Mode Input Voltage	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	Volts
Differential Input Voltage	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	Volts
Alarm Voltages													
+ALM	$-V_S$		$-V_S + 36$	$-V_S$		$-V_S + 36$	$-V_S$		$-V_S + 36$	$-V_S$		$-V_S + 36$	Volts
-ALM	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	Volts
Operating Temperature Range	-55		+125	-55		+125	-55		+125	-55		+125	°C
Output Short Circuit to Common	Indefinite			Indefinite			Indefinite			Indefinite			
TEMPERATURE MEASUREMENT													
Specified Temperature Range 0°C to +50°C)													
Calibration Error at +25°C[1]			±3			±1			±3			±1	°C
Stability vs. Temperature[2]			±0.05			±0.025			±0.05			±0.025	°C/°C
Gain Error			±1.5			±0.75			±1.5			±0.75	%
Nominal Transfer Function			10			10			10			10	mV/°C
AMPLIFIER CHARACTERISTICS													
Closed Loop Gain[3]		193.4			193.4			247.3			247.3		
Input Offset Voltage		(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C		μV
Input Bias Current		0.1			0.1			0.1			0.1		μA
Differential Input Range	-10		+50	-10		+50	-10		+50	-10		+50	mV
Common-Mode Range	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	Volts
Common-Mode Sensitivity – RTO			10			10			10			10	mV/V
Power Supply Sensitivity – RTO			10			10			10			10	mV/V
Output Voltage Range													
Dual Supply	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	Volts
Single Supply	0		$+V_S - 2$	0		$-V_S - 2$	0		$+V_S + 2$	0		$+V_S - 2$	Volts
Usable Output Current[4]		±5			±5			±5			±5		mA
3 dB Bandwidth		15			15			15			15		kHz
ALARM CHARACTERISTICS													
Voltage at 1 mA		0.3			0.3			0.3			0.3		Volts
Leakage Current			±1			±1			±1			±1	μA max
Operating Voltage at –ALM			$+V_S - 4$			$+V_S - 4$			$+V_S - 4$			$+V_S - 4$	Volts
Short Circuit Current		20			20			20			20		mA
POWER REQUIREMENTS													
Specified Performance	$+V_S = +_S$, $-V_S = 0$			$+V_S = +_S$, $-V_S = 0$			$+V_S = +_S$, $-V_S = 0$			$+V_S = +_S$, $-V_S = 0$			Volts
Operating[5]	$+V_S$ to $-V_S \pm 30$			$+V_S$ to $-V_S \pm 30$			$+V_S$ to $-V_S \pm 30$			$+V_S$ to $-V_S \pm 30$			Volts
Quiescent Current (No Load)													
$+V_S$		350	500		350	500		350	500		350	500	μA
$-V_S$		100			100			100			100		μA
PACKAGE OPTION													
TO-116 (D-14)	AD594AD AD595AQ			AD594CD AD595CQ			AD595AD AD595AQ			AD595CD AD595CQ			
Cerdip (Q-14)													

NOTES

[1]Calibrated for minimum error at +25°C using a thermocouple sensitivity of 51.7 μV/°C. Since a J type thermocouple deviates from this straight line approximation, the AD594 will normally read 5.1 mV when the measuring junction is at 0°C. The AD595 will similarly read 2.7 mV at 0°C.

[2]Defined as the slope of the line connecting the AD594/AD595 errors measured at 0°C and 50°C ambient temperature.

[3]Pin 8 shorted to Pin 9.

[4]Current Sink Capability in single supply configuration is limited to current drawn to ground through a 50 kΩ resistor at output voltages below 2.5 V.

[5]$-V_S$ must not exceed –16.5 V.

Specifications shown in **boldface** are tested on all production units at final electrical test. Results from these tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in **boldface** are tested on all production units.

Specifications subject to change without notice.

INTERPRETING AD594/AD595 OUTPUT VOLTAGES

To achieve a temperature proportional output of 10 mV/°C and accurately compensate for the reference junction over the rated operating range of the circuit, the AD594/AD595 is gain trimmed to match the transfer characteristic of J and K type thermocouples at 25°C. For a type J output in this temperature range the TC is 51.70 μV/°C, while for a type K it is 40.44 μV/°C. The resulting gain for the AD594 is 193.4 (10 mV/°C divided by 51.7 μV/°C) and for the AD595 is 247.3 (10 mV/°C divided by 40.44 μV/°C). In addition, an absolute accuracy trim induces an input offset to the output amplifier characteristic of 16 μV for the AD594 and 11 μV for the AD595. This offset arises because the AD594/AD595 is trimmed for a 250 mV output while applying a 25°C thermocouple input.

Because a thermocouple output voltage is nonlinear with respect to temperature, and the AD594/AD595 linearly amplifies the compensated signal, the following transfer functions should be used to determine the actual output voltages:

AD594 output = (*Type J Voltage* + 16 μV) × 193.4

AD595 output = (*Type K Voltage* + 11 μV) × 247.3 *or conversely:*

Type J voltage = *(AD594 output*/193.4*)* – 16 μV

Type K voltage = *(AD595 output*/247.3*)* – 11 μV

Table I lists the ideal AD594/AD595 output voltages as a function of Celsius temperature for type J and K ANSI standard thermocouples, with the package and reference junction at 25°C. As is normally the case, these outputs are subject to calibration, gain and temperature sensitivity errors. Output values for intermediate temperatures can be interpolated, or calculated using the output equations and ANSI thermocouple voltage tables referred to zero degrees Celsius. Due to a slight variation in alloy content between ANSI type J and DIN Fe-CuNi

Table I. Output Voltage vs. Thermocouple Temperature (Ambient +25°C, V_S = –5 V, +15 V)

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
–200	–7.890	–1523	–5.891	–1454
–180	–7.402	–1438	–5.550	–1370
–160	–6.821	–1316	–5.141	–1269
–140	–6.159	–1188	–4.669	–1152
–120	–5.426	–1046	–4.138	–1021
–100	–4.632	–895	–3.553	–876
–80	–3.785	–729	–2.920	–719
–60	–2.892	–556	–2.243	–552
–40	–1.960	–376	–1.527	–375
–20	–.995	–189	–.777	–189
–10	–.501	–94	–.392	–94
0	0	3.1	0	2.7
10	.507	101	.397	101
20	1.019	200	.798	200
25	1.277	250	1.000	250
30	1.536	300	1.203	300
40	2.058	401	1.611	401
50	2.585	503	2.022	503
60	3.115	606	2.436	605
80	4.186	813	3.266	810
100	5.268	1022	4.095	1015
120	6.359	1233	4.919	1219
140	7.457	1445	5.733	1420
160	8.560	1659	6.539	1620
180	9.667	1873	7.338	1817
200	10.777	2087	8.137	2015
220	11.887	2302	8.938	2213
240	12.998	2517	9.745	2415
260	14.108	2732	10.560	2614
280	15.217	2946	11.381	2817
300	16.325	3160	12.207	3022
320	17.432	3374	13.039	3227
340	18.537	3588	13.874	3434
360	19.640	3801	14.712	3641
380	20.745	4015	15.552	3849
400	21.846	4228	16.395	4057
420	22.949	4441	17.241	4266
440	24.054	4655	18.088	4476
460	25.161	4869	18.938	4686
480	26.272	5084	19.788	4896
500	27.388	5300	20.640	5107
520	28.511	5517	21.493	5318
540	29.642	5736	22.346	5529
560	30.782	5956	23.198	5740
580	31.933	6179	24.050	5950
600	33.096	6404	24.902	6161
620	34.273	6632	25.751	6371
640	35.464	6862	26.599	6581
660	36.671	7095	27.445	6790
680	37.893	7332	28.288	6998
700	39.130	7571	29.128	7206
720	40.382	7813	29.965	7413
740	41.647	8058	30.799	7619
750	42.283	8181	31.214	7722
760	–	–	31.629	7825
780	–	–	32.455	8029
800	–	–	33.277	8232
820	–	–	34.095	8434
840	–	–	34.909	8636
860	–	–	35.718	8836
880	–	–	36.524	9035
900	–	–	37.325	9233
920	–	–	38.122	9430
940	–	–	38.915	9626
960	–	–	39.703	9821
980	–	–	40.488	10015
1000	–	–	41.269	10209
1020	–	–	42.045	10400
1040	–	–	42.817	10591
1060	–	–	43.585	10781
1080	–	–	44.439	10970
1100	–	–	45.108	11158
1120	–	–	45.863	11345
1140	–	–	46.612	11530
1160	–	–	47.356	11714
1180	–	–	48.095	11897
1200	–	–	48.828	12078
1220	–	–	49.555	12258
1240	–	–	50.276	12436
1250	–	–	50.633	12524

thermocouples Table I should not be used in conjunction with European standard thermocouples. Instead the transfer function given previously and a DIN thermocouple table should be used. ANSI type K and DIN NiCR-NI thermocouples are composed

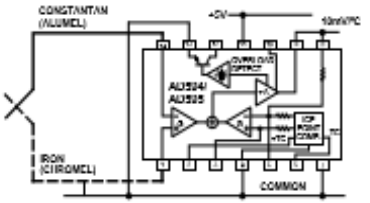


Figure 1. Basic Connection, Single Supply Operation

of identical alloys and exhibit similar behavior. The upper temperature limits in Table I are those recommended for type J and type K thermocouples by the majority of vendors.

SINGLE AND DUAL SUPPLY CONNECTIONS

The AD594/AD595 is a completely self-contained thermocouple conditioner. Using a single +5 V supply the interconnections shown in Figure 1 will provide a direct output from a type J thermocouple (AD594) or type K thermocouple (AD595) measuring from 0°C to +300°C.

Any convenient supply voltage from +5 V to +30 V may be used, with self-heating errors being minimized at lower supply levels. In the single supply configuration the +5 V supply connects to Pin 11 with the V– connection at Pin 7 strapped to power and signal common at Pin 4. The thermocouple wire inputs connect to Pins 1 and 14 either directly from the measuring point or through intervening connections of similar thermocouple wire type. When the alarm output at Pin 13 is not used it should be connected to common or –V. The precalibrated feedback network at Pin 8 is tied to the output at Pin 9 to provide a 10 mV/°C nominal temperature transfer characteristic.

By using a wider ranging dual supply, as shown in Figure 2, the AD594/AD595 can be interfaced to thermocouples measuring both negative and extended positive temperatures.

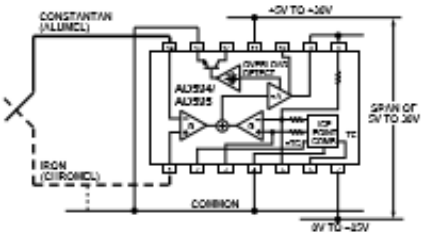


Figure 2. Dual Supply Operation

With a negative supply the output can indicate negative temperatures and drive grounded loads or loads returned to positive voltages. Increasing the positive supply from 5 V to 15 V extends the output voltage range well beyond the 750°C temperature limit recommended for type J thermocouples (AD594) and the 1250°C for type K thermocouples (AD595).

Common-mode voltages on the thermocouple inputs must remain within the common-mode range of the AD594/AD595, with a return path provided for the bias currents. If the thermocouple is not remotely grounded, then the dotted line connections in Figures 1 and 2 are recommended. A resistor may be needed in this connection to assure that common-mode voltages induced in the thermocouple loop are not converted to normal mode.

THERMOCOUPLE CONNECTIONS

The isothermal terminating connections of a pair of thermocouple wires forms an effective reference junction. This junction must be kept at the same temperature as the AD594/AD595 for the internal cold junction compensation to be effective.

A method that provides for thermal equilibrium is the printed circuit board connection layout illustrated in Figure 3.

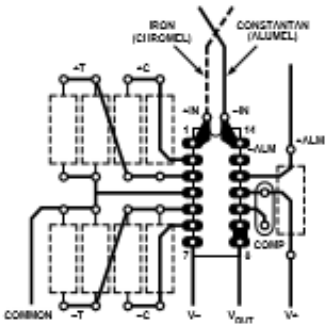


Figure 3. PCB Connections

Here the AD594/AD595 package temperature and circuit board are thermally contacted in the copper printed circuit board tracks under Pins 1 and 14. The reference junction is now composed of a copper-constantan (or copper-alumel) connection and copper-iron (or copper-chromel) connection, both of which are at the same temperature as the AD594/AD595.

The printed circuit board layout shown also provides for placement of optional alarm load resistors, recalibration resistors and a compensation capacitor to limit bandwidth.

To ensure secure bonding the thermocouple wire should be cleaned to remove oxidation prior to soldering. Noncorrosive rosin flux is effective with iron, constantan, chromel and alumel and the following solders: 95% tin-5% antimony, 95% tin-5% silver or 90% tin-10% lead.

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The AD594 behaves like two differential amplifiers. The outputs are summed and used to control a high gain amplifier, as shown in Figure 4.

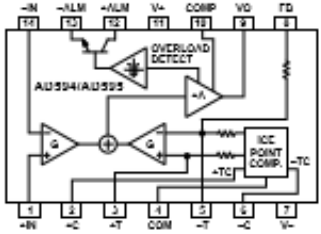


Figure 4. AD594/AD595 Block Diagram

In normal operation the main amplifier output, at Pin 9, is connected to the feedback network, at Pin 8. Thermocouple signals applied to the floating input stage, at Pins 1 and 14, are amplified by gain G of the differential amplifier and are then further amplified by gain A in the main amplifier. The output of the main amplifier is fed back to a second differential stage in an inverting connection. The feedback signal is amplified by this stage and is also applied to the main amplifier input through a summing circuit. Because of the inversion, the amplifier causes the feedback to be driven to reduce this difference signal to a small value. The two differential amplifiers are made to match and have identical gains, G. As a result, the feedback signal that must be applied to the right-hand differential amplifier will precisely match the thermocouple input signal when the difference signal has been reduced to zero. The feedback network is trimmed so that the effective gain to the output, at Pins 8 and 9, results in a voltage of 10 mV/°C of thermocouple excitation.

In addition to the feedback signal, a cold junction compensation voltage is applied to the right-hand differential amplifier. The compensation is a differential voltage proportional to the Celsius temperature of the AD594/AD595. This signal disturbs the differential input so that the amplifier output must adjust to restore the input to equal the applied thermocouple voltage.

The compensation is applied through the gain scaling resistors so that its effect on the main output is also 10 mV/°C. As a result, the compensation voltage adds to the effect of the thermocouple voltage a signal directly proportional to the difference between 0°C and the AD594/AD595 temperature. If the thermocouple reference junction is maintained at the AD594/AD595 temperature, the output of the AD594/AD595 will correspond to the reading that would have been obtained from amplification of a signal from a thermocouple referenced to an ice bath.

LAMPIRAN B
DATA KALIBRASI SENSOR TEMPERATUR

Tabel 1. Data Kalibrasi Sensor Termokopel tipe K

No	Pemb. Standart (°C)	Pembacaan Alat Naik (°C)					Pembacaan Alat Turun (°C)					Rata-Rata Pemb. Alat (x)	Koreksi (y)	ti^2	ti*yi	Yreg	Residu (R)	Square Residual (SR)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
1	30	29.7	29.71	30.88	29.86	29.86	30.88	29.33	29.33	29.33	29.821	29.8701	0.129	900	5.37	0.741	-0.562	0.316
2	35	34.68	34.56	35.88	34.4	34.9	34.22	35.4	35.88	34.33	34.847	34.9097	0.090	1,225	5.355	0.774	-0.621	0.385
3	40	39.22	39.88	39.84	39.22	39.22	40.88	40.6	40.88	4.68	37.11	39.753	0.247	1,600	115.6	0.806	2.083	4.34
4	45	44.01	44.22	44.22	44.39	44.39	45.39	45.39	45.39	45.39	44.818	44.7608	0.239	2,025	8.19	0.839	-0.657	0.432
5	50	48.87	49.05	48.95	49.22	49.33	49.3	48.88	49.3	48.8	49.1	49.08	0.92	2,500	45	0.871	0.028	0.00079
6	55	53.81	54	54.01	54	54.22	54.72	54.23	54.11	54.11	54.132	54.1342	0.865	3,025	47.74	0.904	-0.036	0.001
7	60	58.61	59.12	59.12	59.12	59.12	59.14	59.13	59.13	59.13	59.075	59.0695	0.930	3,600	55.5	0.937	-0.0121	0.00014
8	65	63.86	63.49	64.69	64.74	64.47	64.49	64.52	64.07	64.12	64.26	64.271	0.729	4,225	48.1	0.969	-0.229	0.052
9	70	68.91	69.4	68.89	69.38	69.38	69.4	68.98	69.91	68.4	69.105	69.1755	0.824	4,900	62.65	1.002	-0.107	0.011
10	75	73.8	74.16	73.8	74.5	74.18	73.66	73.66	73.66	73.66	73.85	73.893	1.107	5,625	86.25	1.034	0.115	0.013
11	80	78.22	78.98	78.98	78.98	78.98	78.96	78.66	78.32	78.06	78.68	78.682	1.318	6,400	105.6	1.358	-0.038	0.001
12	85	83.25	83.5	83.25	83.25	83.25	83.3	83.88	83.88	83.88	83.532	83.4972	1.502	7,225	124.78	1.427	0.04	0.001
13	90	88.24	88.44	88.05	88.1	88.1	88.88	88.46	89.33	89.33	88.481	88.5411	1.458	8,100	136.71	1.496	0.022	0.0005

Tabel 2. Data Kalibrasi Sensor LM35

No	Pemb. Standart (°C)	Pembacaan Alat Naik (°C)					Pembacaan Alat Turun (°C)					Rata-Rata Pemb. Alat (x)	Koreksi (y)	ti^2	ti*yi	Yreg	Residu (R)	Square Residual (SR)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
1	30	30.88	30.68	30.33	29.88	29.88	29.88	30.68	29.88	29.88	30.33	30.2300	-0.23	900	-6.9	-0.081	-0.148	0.0219
2	35	34.88	34.30	35.30	34.30	35.88	35.88	35.30	35.30	35.88	34.88	35.1900	-0.19	1,225	-6.65	-0.101	-0.088	0.0078
3	40	40.30	40.68	39.88	40.68	40.88	40.88	40.30	40.00	40.00	40.00	40.3600	-0.36	1,600	-14.4	-0.121	-0.238	0.0569
4	45	45.07	45.30	45.30	45.30	45.30	44.88	44.88	44.88	45.30	45.30	45.1510	-0.15	2,025	-6.795	-0.141	-0.009	8.1×10^{-5}
5	50	50.33	50.33	49.88	49.88	49.88	50.33	50.88	49.88	49.88	49.88	50.1150	-0.11	2,500	-5.75	-0.161	0.046	0.002
6	55	55.46	55.88	55.88	49.88	49.88	55.46	55.46	55.88	49.68	49.68	53.3140	1.68	3,025	92.73	-0.18	1.866	3.484
7	60	60.88	61.33	60.88	60.88	61.33	61.33	61.33	60.88	60.88	60.88	61.0600	-1.06	3,600	-63.6	-0.2	-0.859	0.738
8	65	65.88	66.88	66.88	66.88	66.88	65.88	65.88	64.88	64.88	64.88	65.9800	-0.98	4,225	-63.7	-0.22	-0.75	0.577
9	70	70.30	70.30	69.68	69.68	69.33	69.33	69.88	69.88	70.88	71.46	70.0720	-0.07	4,900	-5.04	-0.24	0.168	0.0282
10	75	74.88	74.68	75.88	75.88	75.88	74.33	74.33	74.33	75.88	76.30	75.2370	-0.23	5,625	-17.775	-0.259	0.022	0.0005

LAMPIRAN B
DATA KALIBRASI SENSOR TEMPERATUR

Tabel 1. Data Kalibrasi Sensor Termokopel tipe K

No	Pemb. Standart (°C)	Pembacaan Alat Naik (°C)					Pembacaan Alat Turun (°C)					Rata-Rata Pemb. Alat (x)	Koreksi (y)	ti^2	ti*yi	Yreg	Residu (R)	Square Residual (SR)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
1	30	29.7	29.71	30.88	29.86	29.86	30.88	29.33	29.33	29.33	29.821	29.8701	0.129	900	5.37	0.741	-0.562	0.316
2	35	34.68	34.56	35.88	34.4	34.9	34.22	35.4	35.88	34.33	34.847	34.9097	0.090	1,225	5.355	0.774	-0.621	0.385
3	40	39.22	39.88	39.84	39.22	39.22	40.88	40.6	40.88	4.68	37.11	39.753	0.247	1,600	115.6	0.806	2.083	4.34
4	45	44.01	44.22	44.22	44.39	44.39	45.39	45.39	45.39	45.39	44.818	44.7608	0.239	2,025	8.19	0.839	-0.657	0.432
5	50	48.87	49.05	48.95	49.22	49.33	49.3	48.88	49.3	48.8	49.1	49.08	0.92	2,500	45	0.871	0.028	0.00079
6	55	53.81	54	54.01	54	54.22	54.72	54.23	54.11	54.11	54.132	54.1342	0.865	3,025	47.74	0.904	-0.036	0.001
7	60	58.61	59.12	59.12	59.12	59.12	59.14	59.13	59.13	59.13	59.075	59.0695	0.930	3,600	55.5	0.937	-0.0121	0.00014
8	65	63.86	63.49	64.69	64.74	64.47	64.49	64.52	64.07	64.12	64.26	64.271	0.729	4,225	48.1	0.969	-0.229	0.052
9	70	68.91	69.4	68.89	69.38	69.38	69.4	68.98	69.91	68.4	69.105	69.1755	0.824	4,900	62.65	1.002	-0.107	0.011
10	75	73.8	74.16	73.8	74.5	74.18	73.66	73.66	73.66	73.66	73.85	73.893	1.107	5,625	86.25	1.034	0.115	0.013
11	80	78.22	78.98	78.98	78.98	78.98	78.96	78.66	78.32	78.06	78.68	78.682	1.318	6,400	105.6	1.358	-0.038	0.001
12	85	83.25	83.5	83.25	83.25	83.25	83.3	83.88	83.88	83.88	83.532	83.4972	1.502	7,225	124.78	1.427	0.04	0.001
13	90	88.24	88.44	88.05	88.1	88.1	88.88	88.46	89.33	89.33	88.481	88.5411	1.458	8,100	136.71	1.496	0.022	0.0005

Tabel 2. Data Kalibrasi Sensor LM35

No	Pemb. Standart (°C)	Pembacaan Alat Naik (°C)					Pembacaan Alat Turun (°C)					Rata-Rata Pemb. Alat (x)	Koreksi (y)	ti^2	ti*yi	Yreg	Residu (R)	Square Residual (SR)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
1	30	30.88	30.68	30.33	29.88	29.88	29.88	30.68	29.88	29.88	30.33	30.2300	-0.23	900	-6.9	-0.081	-0.148	0.0219
2	35	34.88	34.30	35.30	34.30	35.88	35.88	35.30	35.30	35.88	34.88	35.1900	-0.19	1,225	-6.65	-0.101	-0.088	0.0078
3	40	40.30	40.68	39.88	40.68	40.88	40.88	40.30	40.00	40.00	40.00	40.3600	-0.36	1,600	-14.4	-0.121	-0.238	0.0569
4	45	45.07	45.30	45.30	45.30	45.30	44.88	44.88	44.88	45.30	45.30	45.1510	-0.15	2,025	-6.795	-0.141	-0.009	8.1×10^{-5}
5	50	50.33	50.33	49.88	49.88	49.88	50.33	50.88	49.88	49.88	49.88	50.1150	-0.11	2,500	-5.75	-0.161	0.046	0.002
6	55	55.46	55.88	55.88	49.88	49.88	55.46	55.46	55.88	49.68	49.68	53.3140	1.68	3,025	92.73	-0.18	1.866	3.484
7	60	60.88	61.33	60.88	60.88	61.33	61.33	61.33	60.88	60.88	60.88	61.0600	-1.06	3,600	-63.6	-0.2	-0.859	0.738
8	65	65.88	66.88	66.88	66.88	66.88	65.88	65.88	64.88	64.88	64.88	65.9800	-0.98	4,225	-63.7	-0.22	-0.75	0.577
9	70	70.30	70.30	69.68	69.68	69.33	69.33	69.88	69.88	70.88	71.46	70.0720	-0.07	4,900	-5.04	-0.24	0.168	0.0282
10	75	74.88	74.68	75.88	75.88	75.88	74.33	74.33	74.33	75.88	76.30	75.2370	-0.23	5,625	-17.775	-0.259	0.022	0.0005

LAMPIRAN C
DATA MONITORING GAS HIDROGEN

Tabel 3. Pengambilan Data Monitoring Temperatur Gas Hidrogen

Waktu	LM35 (^{o}C)	Termokopel (^{o}C)
0:00:30	26.28	27.3
0:01:00	26.28	27.88
0:01:30	26.52	27.3
0:02:00	26.28	27.3
0:02:30	26.52	27.55
0:03:00	26.52	27.3
0:03:30	26.52	27.3
0:04:00	26.88	27.88
0:04:30	26.88	27.3
0:05:00	26.88	27.3
0:05:30	27.21	27.55
0:06:00	27.21	27.3
0:06:30	26.9	27.88
0:07:00	26.9	27.88
0:07:30	27.21	27.3
0:08:00	27.21	27.3
0:08:30	27.88	27.3
0:09:00	27.88	27.3
0:09:30	27.21	27.3
0:10:00	27.21	27.3
0:10:30	27.88	27.3
0:11:00	27.88	27.3
0:11:30	27.88	27.3
0:12:00	27.88	27.3

0:12:30	27.21	27.3
0:13:00	27.88	27.3
0:13:30	27.88	27.3
0:14:00	27.88	27.3
0:14:30	27.88	27.3
0:15:00	28.22	27.3
0:15:30	28	27.88
0:16:00	27.88	27.88
0:16:30	27.88	27.88
0:17:00	28	27.88
0:17:30	28.22	27.88
0:18:00	28.22	27.3
0:18:30	28.22	27.3
0:19:00	28.22	27.3
0:19:30	28.22	27.3
0:20:00	28	27.3
0:20:30	28	27.3
0:21:00	28.22	27.3
0:21:30	28	27.3
0:22:00	28.22	27.3
0:22:30	28	27.3
0:23:00	28.22	27.3
0:23:30	28.22	27.3
0:24:00	28.22	27.3
0:24:30	28.43	27.3
0:25:00	28.43	27.3
0:25:30	28.43	27.3
0:26:00	28.22	27.3
0:26:30	28.43	27.3

0:27:00	28.22	27.3
0:27:30	28.43	27.3
0:28:00	28.43	27.3
0:28:30	28.43	27.3
0:29:00	28.88	27.3
0:29:30	28.88	27.3
0:30:00	28.22	27.3
0:30:30	28.43	27.3
0:31:00	28.43	27.3
0:31:30	28.43	27.3
0:32:00	28.88	27.3
0:32:30	28.88	27.88
0:33:00	28.22	27.3
0:33:30	28.43	27.88
0:34:00	28.43	27.3
0:34:30	28.43	27.88
0:35:00	28.88	27.3
0:35:30	28.88	27.88
0:36:00	28.88	27.3
0:36:30	28.88	27.88
0:37:00	28.88	27.3
0:37:30	28.88	27.88
0:38:00	28.43	27.3
0:38:30	28.88	27.88
0:39:00	29.2	27.3
0:39:30	29.2	27.88
0:40:00	28.88	27.3
0:40:30	29.2	27.88
0:41:00	29.2	27.3
0:41:30	29.2	27.88

0:42:00	29.2	27.3
0:42:30	29.79	27.3
0:43:00	29.79	27.3
0:43:30	29.79	27.3
0:44:00	29.2	27.3
0:44:30	29.79	27.3
0:45:00	29.2	27.3
0:45:30	29.79	27.3
0:46:00	29.2	27.3
0:46:30	29.79	27.3
0:47:00	29.88	27.3
0:47:30	29.79	27.3
0:48:00	29.88	27.8
0:48:30	29.79	27.8
0:49:00	29.88	27.3
0:49:30	29.79	27.3
0:50:00	29.88	27.3
0:50:30	29.79	27.8
0:51:00	29.88	27.8
0:51:30	29.79	27.3
0:52:00	29.88	27.3
0:52:30	29.79	27.3
0:53:00	29.88	27.8
0:53:30	29.79	27.8
0:54:00	29.88	27.3
0:54:30	29.79	27.8
0:55:00	29.88	27.8
0:55:30	29.88	27.3
0:56:00	29.88	27.8

0:56:30	29.9	27.3
0:57:00	29.88	27.3
0:57:30	29.9	27.3
0:58:00	29.88	27.3
0:58:30	29.9	27.3
0:59:00	29.88	27.3
0:59:30	29.9	27.3
1:00:00	29.88	27.3
1:00:30	29.9	27.3
1:01:00	30	27.3
1:01:30	30	27.3
1:02:00	29.88	26.88
1:02:30	29.88	26.88
1:03:00	30	26.88
1:03:30	30	27.3
1:04:00	30.3	27.3
1:04:30	29.88	27.3
1:05:00	30	27.3
1:05:30	30	27.3
1:06:00	30.3	27.3
1:06:30	29.88	27.3
1:07:00	30.3	27.88
1:07:30	29.88	27.88
1:08:00	30.3	27.3
1:08:30	29.88	27.3
1:09:00	30.3	27.3
1:09:30	29.88	27.3
1:10:00	30.3	27.3
1:10:30	29.88	27.3
1:11:00	30.3	27.3

1:11:30	29.88	27.3
1:12:00	30.3	27.3
1:12:30	30.3	27.3
1:13:00	30.88	27.3
1:13:30	30.88	27.3
1:14:00	31.29	27.3
1:14:30	31.29	27.3
1:15:00	30.88	27.3
1:15:30	30.3	27.3
1:16:00	30.3	27.3
1:16:30	30.88	27.3
1:17:00	30.88	27.3
1:17:30	31.29	27.3
1:18:00	31.29	27.3
1:18:30	30.88	27.3
1:19:00	30.3	27.88
1:19:30	30.3	27.86
1:20:00	30.88	27.88
1:20:30	30.88	27.86
1:21:00	31.29	27.86
1:21:30	31.29	27.86
1:22:00	30.88	27.86
1:22:30	30.88	27.86
1:23:00	31.29	27.86
1:23:30	30.88	27.86
1:24:00	30.88	27.86
1:24:30	31.29	27.3
1:25:00	30.88	27.3
1:25:30	30.88	27.8

1:26:00	30.88	27.8
1:26:30	30.88	27.8
1:27:00	31.29	27.3
1:27:30	31.29	27.3
1:28:00	31.29	27.8
1:28:30	31.29	27.8
1:29:00	30.88	27.8
1:29:30	31.29	27.3
1:30:00	31.29	27.3
1:30:30	31.79	27.8

LAMPIRAN D
LISTING PROGRAM AVR

```
#include <mega32a.h>
#include <delay.h>
#include <alcd.h>
#include <spi.h>
#include <ff.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sdcard.h>


char display_buffer[16]; /* buffer used by sprintf */
unsigned int sector_size, panjangdatammc, sector_size;
unsigned long int sector_count;
char buffer[16],filename[16];
unsigned char status,status_tulis;
char display_buffer[16];
char input;


#define ADC_VREF_TYPE 0x00
/* FAT function result */
FRESULT res;
/* number of bytes written/read to the file */
unsigned int nbytes;
/* will hold the information for logical drive 0: */
FATFS fat;
/* will hold the file information */
FIL file;
/* will hold file attributes, time stamp information */
FILINFO finfo;


// Timer1 overflow interrupt service routine
/* Timer1 overflow interrupt frequency [Hz] */
#define T1_OVF_FREQ 100
/* Timer1 clock prescaler value */
#define T1_PRESC 1024L
/* Timer1 initialization value after overflow */
#define T1_INIT (0x10000L-
(_MCU_CLOCK_FREQUENCY_/(T1_PRESC*T1_OVF_FREQ)))
```

```
interrupt [TIM1_OVF] void timer1_ovf_isr(void)
{
/* re-initialize Timer1 */
TCNT1H=T1_INIT>>8;
TCNT1L=T1_INIT&0xFF;
/* card access low level timing function */
disk_timerproc();
}

flash char * flash error_msg[]=

{
"",
"FR_DISK_ERR",
"FR_INT_ERR",
"FR_NOT_READY",
"FR_NO_FILE",
"FR_NO_PATH",
"FR_INVALID_NAME",
"FR_DENIED",
"FR_EXIST",
"FR_INVALID_OBJECT",
"FR_WRITE_PROTECTED",
"FR_INVALID_DRIVE",
"FR_NOT_ENABLED",
"FR_NO_FILESYSTEM",
"FR_MKFS_ABORTED",
"FR_TIMEOUT"
};

unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
// Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
delay_us(10);
// Start the AD conversion
ADCSRA|=0x40;
// Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCW;
}

// SPI functions
```

```
// Declare your global variables here
void init_mmc (void)
{
status=disk_initialize(0);
status=0;
lcd_clear();
if (status & STA_NODISK) lcd_puts("Card not present");
else
if (status & STA_NOINIT) lcd_puts("Disk init failed");
else
if (status & STA_PROTECT) lcd_puts("Card write\nprotected");
 //all status flags are 0, disk initialization OK
else
   {
   lcd_puts("Init OK");
   delay_ms(1000);

   lcd_clear();

   if (disk_ioctl(0,GET_SECTOR_SIZE,&sector_size)==RES_OK)
     {
     lcd_clear();

     sprintf(display_buffer,"Sector size=%u",sector_size);
     lcd_puts(display_buffer);

     delay_ms(1000);

   if (disk_ioctl(0,GET_SECTOR_COUNT,&sector_count)==RES_OK)
      {
       lcd_clear();

       sprintf(display_buffer,"Sector count=%lu",sector_count);
       lcd_puts(display_buffer);
       }
   else
     lcd_puts("Error reading\nsector count");
     }
   else lcd_puts("Error reading\nsector size");
   }

}

//=================================================
```

```
void inisialisasi_fat(void)
{
  //  timer_mmc();
    for(;;)
    {
        if ((res=f_mount(0,&fat))==FR_OK)
        {
            break;
        }
        else
        {
           error(res);
        }
    }
    //stop_timer_mmc();
}

void reset_filename(void)
{
    unsigned char i_reset;
    for(i_reset=0;i_reset<30;i_reset++)
    {
        filename[i_reset]=0;
    }
}

void file_data (void)
{
    filename[0]='0';
    filename[1]=':';
    filename[2]='k';
    filename[3]='y';
    filename[4]='k';
    filename[5]='y';
    filename[6]='.';
    filename[7]='t';
    filename[8]='x';
    filename[9]='t';
}

void file_baru(void)
{
    unsigned char ulang;
    status=0;
    for(ulang=0;ulang<10;ulang++)
```

```
    {
       reset_filename();
       file_data();
     //  timer_mmc();

       if ((res=f_open(&file,filename,FA_CREATE_NEW))==FR_OK)status=1;
       else status=0;

       if(status==1)
       {
          if ((res=f_close(&file))==FR_OK)status=1;
          else status=0;
       }

       if(status==1)break;

    }
    stop_timer_mmc();
}

void isi_file(void)
{
    unsigned ulang;
    status_tulis=0;

    reset_filename();
    file_data();
    display_status(filename);

     for(ulang=0;ulang<10;ulang++)
    {
          timer_mmc();
          if ((res=f_open(&file,filename,FA_WRITE))==FR_OK)status_tulis=1;
          else status_tulis=0;

          if(status_tulis==1)
          {
             if ((res=f_lseek(&file,finfo.fsize))==FR_OK)status_tulis=1;
             else status_tulis=0;
          }

          if(status_tulis==1)
          {
             if
((res=f_write(&file,buffer,panjangdatammc+1,&nbytes))==FR_OK)status_tulis=1;
```

```
            else status_tulis=0;
          }

          if(status_tulis==1)
          {
            if ((res=f_close(&file))==FR_OK)status_tulis=1;
            else status_tulis=0;
          }

          if(status_tulis==1)break;
          delay_ms(500);
    }
    stop_timer_mmc();
}

int data_int;
int adc1,adc2;
int suhulm35,suhutermo;
char lm[33];
char termo[33];

void LM35 (void)
{
     adc1=read_adc(0);
     suhulm35= adc1*500/1023;
 }

void TERMO (void)
    {
    adc2=read_adc(1);
    suhutermo= adc2*500/1023;
    }


void lm35_mmc (void)
{
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]='L';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]='M';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]='3';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]='5';
  panjangdatammc++;
```

```
  buffer[panjangdatammc]=' ';
  buffer[panjangdatammc]=':';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]=(suhulm35/100)+48;
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]=((suhulm35%=100)/10)+48;
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]=(suhulm35%10)+48;
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]=' ';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]='C';

  }


void termo_mmc (void)
{
//
panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]='T';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]='E';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]='R';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]='M';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]='O';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]=':';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]=(suhutermo/100)+48;
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]=((suhutermo%=100)/10)+48;
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]=(suhutermo%10)+48;
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]=' ';
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]='C';
  buffer[panjangdatammc]=13;
  panjangdatammc++;
  buffer[panjangdatammc]=10;
}
```

```
lcd_init(16);

// Global enable interrupts
#asm("sei")
init_mmc();
inisialisasi_fat();

lcd_clear();

lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("LM35  =");
lcd_gotoxy (7,0);
lcd_puts(lm);
lcd_gotoxy(13,0);
lcd_putchar(0xdf);
lcd_putsf("C");

lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("TERMO=");
lcd_gotoxy(7,1);
lcd_puts(termo);
lcd_gotoxy(13,1);
lcd_putchar(0xdf);
lcd_putsf("C");

file_baru();

while (1)
      {
      lm35_mmc();
      termo_mmc();
      isi_file();
      isi_file();
      }
}
```

LISTING PROGRAM VISUAL STUDIO 2010

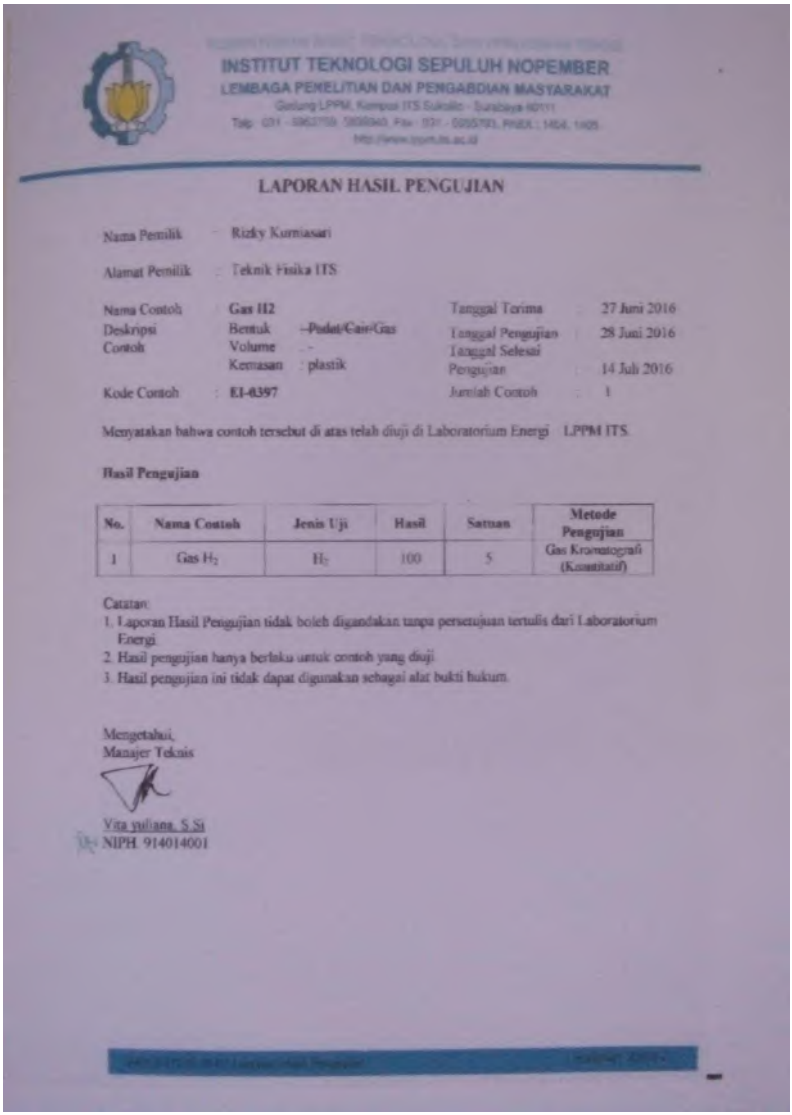
```
Imports MySql.Data
Imports MySql.Data.MySqlClient

Public Class Form1
    Private simpan As Boolean = True
    Dim aryTextFile() As String
    Private myPortlist As String()
    Delegate Sub SetTextCallBack(ByVal [text] As String)
    Dim sqlConn As New MySqlConnection
     Public ii As Integer
    Dim sqlComm As MySqlCommand
    Private WithEvents myserial As New IO.Ports.SerialPort
    Private timeSamplingList As String()
    Private timeSampling As Integer
    Private timer, counter As Integer
    Private recording As Boolean = False
    Private ss, mm, sst, mmt As Integer
    Dim datamasuk As String


    Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        Label2.Text = Format(Now, "dd-MM-yyyy")
        sqlComm = New MySqlCommand
        sqlConn.ConnectionString =
"server=127.0.0.1;database=kyky;uid=root;pwd="
        Try
            sqlConn.Open()
        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.Message)
        End Try
        findPort()
        If (myPortlist.Count >= 1) Then
            ComboBox1.Items.AddRange(myPortlist)
        ComboBox1.SelectedIndex = myPortlist.Count - 1
        End If
    End Sub
    Sub stop_recording()
        Timer1.Stop()
        recording = False
    End Sub '
```

```
    Sub findPort()
        Dim i As Integer = 0
        For Each myport As String In My.Computer.Ports.SerialPortNames
            ReDim Preserve myPortlist(i)
            myPortlist(i) = myport
            i += i
        Next
    End Sub

    Private Sub ComboBox1_SelectedIndexChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles ComboBox1.Click
        findPort()
        ComboBox1.Items.Clear()
        If (Not myPortlist Is Nothing) Then
            ComboBox1.Items.AddRange(myPortlist)
            ComboBox1.SelectedIndex = myPortlist.Count - 1
        End If
    End Sub

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
EventArgs) Handles Button1.Click
        If (Not myserial.IsOpen) Then
            myserial.BaudRate = 9600
            myserial.PortName = ComboBox1.Text
            Try
                myserial.Open()
            Catch ex As Exception
                MsgBox(ex.Message)
            End Try
            If myserial.IsOpen Then
                Try
                    sqlConn.Open()
                Catch ex As Exception
                    simpan = False
                End Try
                MsgBox("OKE")
                Button1.Text = "DISCONNECT"
            End If

        ElseIf myserial.IsOpen Then
            myserial.Close()
            If Not myserial.IsOpen Then
                simpan = True
                Button1.Text = "CONNECT"
                MsgBox("Closed")
```

```
            End If
        End If
    End Sub
    Sub myserial_data() Handles myserial.DataReceived
        Dim BACA As String = myserial.ReadLine
        Me.Invoke(New process(AddressOf olahData), BACA)
    End Sub
    Delegate Sub process(ByVal [data] As String)
    Sub olahData(ByVal [BACA] As String)
        mm = CInt(Now.ToString("mm")) Mod 10
        ss = CInt(Now.ToString("ss"))
        If mm = mmt And ss >= sst Then
            sst = (Now.ToString("ss"))
            mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling) Mod 10
            simpan = True
        End If

            Dim lm, termo As Integer
            lm = InStr(BACA, "|")
            termo = InStr(BACA, "/")
            Dim pisah As String()

            If lm <> 0 And termo <> 0 Then
                Dim pisahawal() As String = BACA.Split("|")
                Dim pisahakhir As String() = pisahawal(1).Split("/")
                pisah = pisahakhir(0).Split("#")

            Try
                LM35value.Text = pisah(0)
                Termovalue.Text = pisah(1)


                ii += 1
                RichTextBox1.AppendText(ii.ToString + " " +
Now.ToString("HH:mm:ss") + BACA + "" + vbNewLine)
                RichTextBox1.ScrollToCaret()

                Chart1.Series("LM35").Points.AddXY(Now.ToString("HH:mm:ss"),
Val(pisah(0)))

Chart2.Series("TERMOKOPEL").Points.AddXY(Now.ToString("HH:mm:ss"),
Val(pisah(1)))
                Catch ex As Exception
            End Try
             End If
```

```
        sqlComm = New MySqlCommand
        Try
            With sqlComm
                .Connection = sqlConn
                .CommandText = "INSERT INTO `monitoring`(`No`, `waktu`, `LM
35`, `TERMOKOPEL`) VALUES ("""","'" + Now.ToString("HH:mm:ss") + "','" +
LM35value.Text + "','" + Termovalue.Text + "')"
                .ExecuteNonQuery()
            End With
        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.Message)
        End Try


    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        If MsgBox("Anda yakin ingin keluar?", vbQuestion + vbYesNo,
"Informasi") = vbYes Then
            Close()
            End
        End If
    End Sub
End Class
```

LAMPIRAN E
LAPORAN HASIL PENGUJIAN HIDROGEN



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
Gedung LPPM, Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111
Telp. 031 - 5962759, 5939840, Fax. 031 - 5955793, PABX : 1404, 1405
http://www.lppm.its.ac.id

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Rizky Kurniasari

Alamat Pemilik : Teknik Fisika ITS

Nama Contoh	: Gas H2		Tanggal Terima	: 27 Juni 2016
Deskripsi Contoh	Bentuk	~~Padat/Cair~~/Gas	Tanggal Pengujian	: 28 Juni 2016
	Volume	: -	Tanggal Selesai Pengujian	: 14 Juli 2016
	Kemasan	: plastik		
Kode Contoh	: **EI-0397**		Jumlah Contoh	: 1

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi LPPM ITS.

Hasil Pengujian

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Gas H_2	H_2	100	5	Gas Kromatografi (Kuantitatif)

Catatan:
1. Laporan Hasil Pengujian tidak boleh digandakan tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Energi.
2. Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
3. Hasil pengujian ini tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum.

Mengetahui,
Manajer Teknis

Vita yuliana, S.Si
NIPH. 914014001

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian sistem monitoring temperature gas hidrogen pada *plant* elektrolisis air dapat disimpulkan, yaitu :

a. Telah dibuat sistem monitoring temperatur gas hidrogen menggunakan sensor termokopel tipe K dan LM35.
b. Telah dikarakteristik statik sensor temperatur, dimana sensor Termokopel tipe K memiliki nilai ketidakpastian diperluas (U*exp*) sebesar ±1,478 dengan tingkat kepercayaan 95%. Akurasi termokpel sebesar 98,1%, dengan *error* pembacaan sebesar 1,9%, sensitivitas sebesar 98,5%, non linierirtas sebesar 11,15%. LM35 memiliki nilai ketidakpastian diperluas (U*exp*) sebesar ±1,88 dengan tingkat kepercayaan 95%. Akurasi LM35 sebesar 99,67% dengan *error* pembacaan sebesar 0,3%, sensitivitas sebesar 99,97%, non linierirtas sebesar 3,6%.
c. Telah dibuat *datalogger* sistem monitoring temperatur pada *Software Visual Studio* dan SD *Card,* telah diuji sistem monitoring temperatur pada plant elektrolisis air dengan pengambilan data selama 1 jam 30 menit. Sensor LM35 dengan temperatur awal 26,28^{o}C mengalami kenaikan hingga 31,79^{o}C, sedangkan sensor Termokopel cenderung stabil pada range 26.88^{o}C – 28.3 ^{o}C.

5.2 Saran

Adapun saran untuk tuags akhir sistem monitoring temperature pada *plant* elektrolisis ini adalah sebagai berikut :

a. Penggunaan sensor temperatur sebaiknya menggunakan DS1280, sensor ini tidak menggunakan *interface*

melainkan 1 *wire* data yang dikirim ke mikro beresolusi 9 bit.

b. Perancangan dan pembuatan mekanik hendaknya mengaju pada penelitian yang telah ada.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Bentley, John P. 2005. "*Principles of Measurement System 4th Edition". London : Prentice Hall.*

[2] KAN. 2013. "Pedoman Evaluasi dan Pelaporan Ketidakpastian Pengukuran". Jakarta: Pedoman KAN DP.01.23

[3] Laboratorium Pengukuran Fisis. 2013. "Modul Teknik Pengukuran dan Kalibrasi". Surabaya: ITS

[4] Libesti, Noveri. "Data *Logger* Sensor Suhu Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535 dengan PC sebagai Tampilan". Pekanbaru: Universitas Riau

[6] Sekolah Tinggi Teknologi Nasional. "Kumpulan Jurnal Seminar NasionalRETII2014" . Yogyakarta: STTN

[7] Supiah, Isna ."Perilaku sel Eketolisis Air dengan Elektroda Stainless Steel". Jurusan Kimia FMIPA UNY.Yogyakarta

[8] Sunardi, Joko. 2009. "Rancang Bangun Antar Muka Mikrokontroler ATMEGA32 dengan Multimedia *Card"*. Yogyakarta: Tekonofisika Nuklir STTN-BATAN

[9] Anonim."ATMEGA32 *datasheet"* . www.atmel.com

[10] Anonim. "LM35 *datasheet".*www.ti.com

[11] Anonim."AD595 *datasheet"*.www.ti.com

[12] Abdurrakhman, Arif. 2013."Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Tegangan Listrik, Konsentrasi Katalis, dan Temperatur terhadap Optimalisasi Sistem Elektrolisis Brown's Gas" . Surabaya. Teknik Mesin FTI ITS

[13] Bishop, Owen. 2002. "Dasar-Dasar Elektronika", Jakarta: Erlangga

[14] Sarwono, Joko. "Pengaruh Konsentrasi Larutan Katalis dan Bentuk Elektroda dalam Proses Elektrolisis untuk Menghasilkan *Gas Brown*". Pontianak. Jurusan Fisika FMIPA

[15] Irfan, Muhammad. 2008 "Makalah Project Work Sistem Monitoring Pemakaian Telepon Dengan Menggunakan

Multi Media Card (Sd/MMC)Sebagai Penyimpan Data" Surabaya : Teknik Elektro FTI ITS.

[16] Suyuty, Achmad, Studi Eksperimen Konfigurasi Komponen Sel Elektrolisis Dalam Rangka Peningkatan Performa Dan Reduksi Sox-Nox Motor Diesel, ITS, 2011.

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di kota Kediri, 26 Juli 1994. Diberi nama terbaik dari kedua orang tua yakni Kyky Sumiarsih. Bapak bernama Sugianto, Ibu bernama Henik dan mempunyai seorang adik bernama Dany Wibi Sugara. Alamat asli rumah di Ds. Ambulu RT:01 RW:22 Kecamatan Ambulu, Kabupaten Jember. Penulis menyelesaikan Sekolah Dasar pada tahun 2007 di SDN Kerep, pada tahun 2010 penulis menamatkan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Grogol dan pada tahun 2013 penulis menamatkan Sekolah Menengah Atas di SMA BIMA. Penulis mempunyai minat terhadap bidang seni dan beladiri hingga sekarang dibangku kuliah, penulis masih aktif menggeluti khususnya dalam pencak silat. Pada tahun 2016 ini, penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Program Studi DIII-Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Rancang Bangun Sistem Monitoring Temperatur Gas Hidrogen pada Plant Elektrolisis Air Berbasis Mikrokontroler". Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email ksumiarsih@gmail.com.