

**PENGENDALIAN SUHU DAN WAKTU PROSES FERMENTASI DALAM  
PEMBUATAN YOGHURT BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC  
CONTROL* DAN *HUMAN MACHINE INTERFACE***

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**NUNI HUTAMI STANTO**

**NIM. 105060307111010-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

PEMANTAUAN SUHU DAN WAKTU PROSES FERMENTASI DALAM  
PEMBUATAN YOGHURT BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC*  
*CONTROL* DAN *HUMAN MACHINE INTERFACE*

SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**NUNI HUTAMI STANTO**

**NIM. 105060307111010 - 63**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Pembimbing 1**

**Pembimbing 2**

**Mochammad Rif'an, S.T., M.T**  
NIP. 19710301 200012 1 001

**Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D**  
NIP. 19771102 200604 2 003

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PEMANTAUAN SUHU DAN WAKTU PROSES FERMENTASI DALAM  
PEMBUATAN YOGHURT BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC  
CONTROL* DAN *HUMAN MACHINE INTERFACE***

**SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Disusun Oleh:

**NUNI HUTAMI STANTO  
NIM. 105060307111010 - 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 13 Juni 2014

**MAJELIS PENGUJI**

**Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng  
NIP. 841130 06 1 1 0280**

**Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc  
NIP. 19590304 198903 1 001**

**Ir. M. Julius St., M.S  
NIP. 19540720 198203 1 002**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 19741203 200012 1 001**



## PENGANTAR

*Bismillahirrohmanirrohim.*

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

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

- Kedua orang tua tercinta, Ayah Sukis, Ak., M.M dan Bunda Pujiati yang senantiasa mendoakan, memberikan nasihat, kasih sayang, perhatian, dan kesabaran selama ini. Serta ketiga adik saya Ning Puji Hutami, Mas Agung Dharmawangsa Hutama dan Majd Azka Luthfi Hutama yang selalu memberikan dukungan,
- Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, yang selalu memberi semangat Elektronika 2010 untuk cepat menyelesaikan skripsinya,
- Bapak Mochammad Rif'an, S.T., M.T sebagai Kaprodi Teknik Elektro Universitas Brawijaya, sekaligus sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, nasehat, pengarahan, motivasi dan saran hingga selesainya skripsi ini.

- Ibu Rahmadwati, S.T., M.T sebagai dosen pembimbing atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran serta motivasi yang telah diberikan,
- Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya teristimewa ibu Ir. Retnowati, selaku dosen pembimbing akademik dan seluruh dosen konsentrasi Elektronika atas segala bimbingan yang diberikan selama saya berproses di Universitas Brawijaya,
- Staf Pengajaran, staf rekording dan staf Ruang Baca Jurusan Teknik Elektro terutama mbak Eka Desiana, Mas Nugroho, Mbak Kokom, Mas Jun, Mbak Heni dan Mbak Frida yang telah membantu segala urusan saya selama ini,
- Kepada Andriyas Susanto yang telah membantu baik secara moral dan dukungan langsung yang selalu membangkitkan semangat hingga akhir penelitian ini,
- Sahabat yang jauh dimata namun selalu dekat di hati Eva Aguswulandari Suwito, S.ked. Terimakasih atas semangat dan doa yang selalu diberikan,
- 4 Teman dekat, Erny, Dewi, Soraya dan Bundo. Terimakasih atas doa, pelajaran hidup, canda, tawa, semangat dan semua bantuannya,
- Teman-Teman Assisten dan Naturalisasi Laboratorium Komputasi dan Jaringan Krisna, Ipin, Mas Yan, Mas Irfan, Fahad, Feby, Peki, Amry, Sirojul, Fahmi, Ikhfal, Abdur dan Lalu atas nasehat, tawa, canda dan semangat yang diberikan,
- Anggota tim robotika TEUB angkatan 2010, Anas, Basori, Abu, Tanshu, Luthfi, Veri, Mu'ammarr, Zara, Imam, dan Dikma atas doa, dukungan, bantuan dan kebersamanya selama lebih kurang tiga tahun belakangan,
- Rekan - rekan seperjuangan dalam pengerjaan skripsi Hamu, Sendok, Rara, Ayu dkk atas segala dukungan dan bantuan yang telah diberikan,
- Keluarga besar angkatan 2010 "MAGNET'10" yang memberikan doa, semangat serta dukungan,
- Widya Anggraeni, ST, Alva Kosasih, ST, Mudito, ST dan Ika Kustanti, ST atas skripsinya yang telah menjadi inspirasi,
- Teman - teman Laboratorium Dasar Elektrik Dan Pengukuran Ari, Mbek, Botek, Atika, Batman, Fery, Malinda, Intan, dan aslab-aslab DEP lainnya atas doa, semangat, dan pengetahuannya selama ini,

- Teman-teman Badan Eksekutif Mahasiswa Teknik, Hafiidh, Fajar, Mitha, Ilham, Agung, Bagus, Dwi, Hulan, dan seluruh staf teristimewa staf “MIKAT” atas doa, pengertian, semangat dan bantuannya,
- Nontek periode 2011-2013, mbak firda, mbak risma, Ferdy, Adin, adikku Liza dan Yanto, atas semangat, doa, perhatian, pengetahuan, dan bimbingan selama di Elektro.

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

Malang, Juni 2014

Penulis





DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
ABSTRAK.....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan .....	4
1.5 Sistematika Pembahasan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Yoghurt .....	5
2.2 Sensor Suhu.....	6
2.3 Sensor Derajat Keasaman .....	7
2.4 Rangkaian Jembatan Wheatsone.....	9
2.5 Penguat Operasional (Op-Amp).....	10
2.6 Arduino Mega .....	11
2.7 Kompor Listrik.....	13
2.8 Motor Servo .....	14
2.9 <i>Programmable Logic Control (PLC) Simatic S7200</i> .....	16
2.10 <i>Human Machine Interface (HMI)</i> .....	17



2.11	Kontroler .....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		21
3.1	Penentuan Spesifikasi Alat.....	21
3.2	Studi Literatur .....	22
3.3	Perancangan dan Pembuatan Alat.....	23
3.3.1	Blok Diagram.....	23
3.3.2	Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ).....	24
3.3.3	Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) .....	24
3.4	Pengujian Alat.....	24
3.4.1	Pengujian Tiap Blok .....	24
3.4.2	Pengujian Keseluruhan Sistem .....	25
3.5	Pengambilan Kesimpulan.....	25
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....		26
4.1	Prinsip Kerja Sistem.....	26
4.2	Perancangan Perangkat Keras .....	27
4.2.1	Perancangan Rangkaian Sensor Suhu.....	28
4.2.1.1	PT 100 dan Rangkaian Jembatan Wheatstone .....	28
4.2.1.2	Penguat Instrumentasi dan Rangkaian <i>Low Pass Filter</i> .....	31
4.2.2	Perancangan Rangkaian Sensor Suhu.....	34
4.2.1.1	Sensor pH <i>Glass Electrode</i> .....	34
4.2.1.2	Penguat Instrumentasi dan Rangkaian <i>Low Pass Filter</i> .....	35
4.2.3	Rangkaian Interface ADC dan PLC.....	37
4.2.4	<i>Driver</i> Motor Servo dan Motor DC .....	39
4.2.5	Karakteristik Alat Fermentasi Susu .....	40
4.2.6	Konfigurasi I/O PLC Siemens S7-200 CPU 226.....	41
4.2.7	Perancangan Kontroler .....	42



4.3	Perancangan Perangkat Lunak .....	44
<b>BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS .....</b>		<b>47</b>
5.1	Pengujian PT 100 .....	47
5.2	Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Analog PT 100 .....	49
5.3	Pengujian Sensor pH .....	53
5.4	Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Analog Sensor pH .....	56
5.5	Pengujian Motor DC Servo .....	58
5.6	Pengujian HMI .....	61
5.7	Pengujian Keseluruhan .....	63
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>66</b>
6.1	Kesimpulan .....	66
6.2	Saran .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>67</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>68</b>
<b>LAMPIRAN I .....</b>		<b>69</b>
<b>LAMPIRAN II .....</b>		<b>71</b>
<b>LAMPIRAN III .....</b>		<b>78</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Produksi Yoghurt.....	6
Gambar 2.2 Sensor PT100 .....	7
Gambar 2.3 Ilustrasi penampang melintang dari pH Probe.....	8
Gambar 2.4 Jembatan Wheatsone.....	9
Gambar 2.5 Penguat Instrumentasi .....	11
Gambar 2.6 Arduino Mega .....	12
Gambar 2.7 Kompor Listrik.....	14
Gambar 2.8 Motor Servo Parallax .....	14
Gambar 2.9 Konfigurasi Pin Pengkabelan Motor Servo .....	15
Gambar 2.10 Pengaturan Sudut Motor Servo.....	16
Gambar 2.11 CPU 226 PLC Siemens Simatic S7-200.....	17
Gambar 2.12 Simatic HMI Panel.....	18
Gambar 2.13 Diagram Blok Kontroler Proposional.....	20
Gambar 3.1 Sistem Fermentasi Susu.....	22
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem.....	23
Gambar 4.1 Diagram Blok Rancangan Elektronik.....	27
Gambar 4.2 Grafik Karakteristik PT100.....	29
Gambar 4.3 Skematik PT 100 pada Rangkaian Jembatan Wheatsone .....	30
Gambar 4.4 Spesifikasi Input dan Output penguat instrumentasi PT 100.....	31
Gambar 4.5 Skematik Rangkaian Sensor Suhu .....	32
Gambar 4.6 Spesifikasi Input dan Output penguat instrumentasi <i>Glass Electrode</i> ....	35
Gambar 4.7 Skematik Rangkaian Sensor pH.....	35
Gambar 4.8 Rangkaian Interface ADC dan PLC.....	39
Gambar 4.9 Rangkaian <i>Driver</i> Motor Servo dan Motor DC .....	40

Gambar 4.10 Grafik Karakteristik Alat Fermentasi Susu.....	41
Gambar 4.11 Diagram Pengkabelan S7-200 CPU226 (system manual S7-200).....	41
Gambar 4.12 Tuning dengan Metode Ziegler-Nichols 1 .....	43
Gambar 4.13 Grafik Respon Sistem Dengan KP 13,3 dan TI 0,833 .....	44
Gambar 4.14 <i>Flowchart</i> Program Utama .....	45
Gambar 4.15 <i>Flowchart</i> Sensor Suhu.....	46
Gambar 4.16 <i>Flowchart</i> Sensor Ph.....	46
Gambar 5.1 Pengujian Sensor Suhu PT100.....	48
Gambar 5.2 Grafik Linearitas Suhu dan Resistansi.....	48
Gambar 5.3 Pengujian RPS Sensor Suhu .....	50
Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Suhu Pembacaan Termometer dan Suhu Pembacaan Serial Monitor.....	51
Gambar 5.5 Listing Program Pembacaan Suhu.....	52
Gambar 5.6 Grafik Perbandingan pembacaan suhu Termometer dan pembacaan Serial Monitor Setelah Kalibrasi.....	53
Gambar 5.7 Pengujian sensor pH pada larutan buffer .....	54
Gambar 5.8 Grafik Linieritas pH dan Tegangan .....	55
Gambar 5.9 Pengujian RPS Sensor pH.....	56
Gambar 5.10 Grafik Hasil Pengujian RPS Sensor pH.....	57
Gambar 5.11 Sinyal Input PWM dengan Pulse 500 $\mu$ s .....	60
Gambar 5.12 Sinyal Input PWM dengan Pulse 1000 $\mu$ s .....	60
Gambar 5.13 Sinyal Input PWM dengan Pulse 2000 $\mu$ s .....	61
Gambar 5.14 Sinyal Input PWM dengan Pulse 2500 $\mu$ s .....	61
Gambar 5.15 Hasil Pengujian Tampilan HMI.....	62
Gambar 5.16 Pengujian Keseluruhan .....	63
Gambar 5.17 Kerja Alat Selama Proses Fermentasi.....	64



Gambar 5.18 Grafik Respon Sistem Keseleuruhan ..... 64

Gambar 5.19 Yoghurt Hasil Fermentasi ..... 65

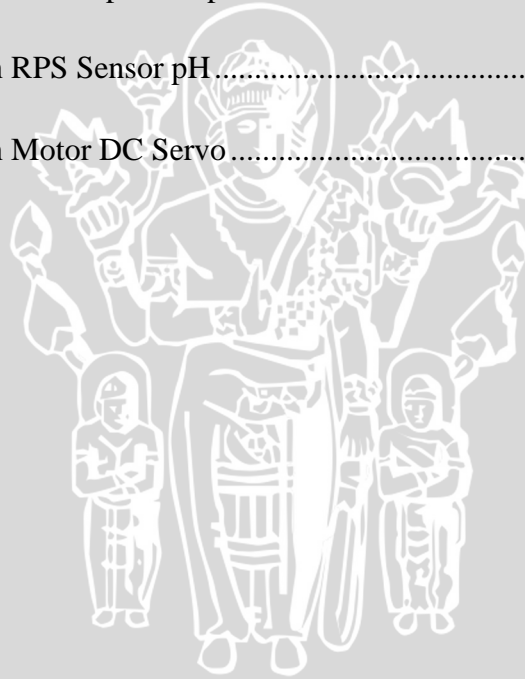
Gambar 1. Elektrik Sistem Fermentasi Susu ..... 70

Gambar 2. Sistem Keseluruhan (a) Tampak depan (b) Tampak atas ..... 70



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Konfigurasi I/O PLC Siemens S7-200 CPU 226.....	42
Tabel 4.2 Aturan Tuning Ziegler-Nichols Metode 1 .....	43
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor Suhu.....	49
Tabel 5.2 Hasil Pengujian RPS PT100.....	51
Tabel 5.3 Hasil Pengujian RPS PT100 Setelah Kalibrasi.....	52
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Sensor pH .....	54
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Sensor pH dan pH Meter.....	55
Tabel 5.6 Hasil Pengujian RPS Sensor pH.....	57
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Motor DC Servo.....	59



## ABSTRAK

Abstrak—Yoghurt adalah suatu produk fermentasi yang diperoleh dari susu segar dengan biakan campuran *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* memiliki suhu optimum 45°C dan 35°C untuk hidup. Untuk itu, dalam pembuatan Yoghurt harus memperhatikan lingkungan (suhu) kedua mikroorganisme, agar mikroorganisme tersebut dalam produk akhirnya bisa hidup aktif dan berlimpah sehingga didapatkan keasaman yang sesuai. Pengendalian suhu antara 40-45°C sangat diperlukan pada proses fermentasi untuk mempercepat prosesnya menjadi (4-6 jam) dan menciptakan habitat yang baik untuk perkembangan mikroorganisme.

Penelitian ini menggunakan sensor PT100 sebagai sensor utama untuk parameter pengontrol suhu dalam proses fermentasi dan Sensor pH *Glass Electrode* digunakan untuk mengetahui pH hasil proses fermentasi. PLC digunakan sebagai alat pengontrol utama dengan kontroler Proporsional Integral. Proses perancangan kontroler Proporsional Integral menggunakan metode Ziegler-Nichols. Pengujian akhir pada sensor suhu PT100 menunjukkan kerja yang baik dengan prosentase kesalahan 0,433% dan *Glass Electrode* setelah dikuatkan sebesar 2,0998%. Hasil perhitungan parameter PI dengan metode Ziegler Nichols didapatkan nilai parameter PI terbaik yaitu  $K_p = 13,3$  dan  $T_i = 0,833$  menit.

**Kata Kunci:** Yoghurt, Susu, PLC.



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, mendorong manusia untuk selalu berinovasi dalam usaha untuk mempermudah kerjanya. Salah satu bentuk inovasi yang akan diteliti kali ini adalah Alat Pembuatan Yoghurt. Yoghurt memiliki banyak manfaat bagi kesehatan tubuh manusia, contohnya dapat dikonsumsi oleh penderita *laktose intolerance*, yaitu gejala tidak tahan terhadap gula susu (laktosa). Dengan proses pengolahan susu menjadi yoghurt dapat menurunkan sekitar 25 persen kadar laktosa yang ada, sehingga jika dikonsumsi oleh penderita tersebut, tidak menyebabkan terjadinya gejala-gejala yang merugikan (Winamo,1980). Oleh sebab itu pengolahan susu segar menjadi produk yoghurt sangat potensial untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan protein hewani maupun menunjang kesehatan.

Yoghurt adalah suatu produk fermentasi yang diperoleh dari susu segar dengan biakan campuran *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* (Helson dan Trout, 1964). Mikroorganisme tersebut dalam produk akhirnya harus hidup aktif dan berlimpah. *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* memiliki rentan suhu untuk dapat hidup. *Streptococcus thermophilus* dibedakan dari genus *streptococcus* lainnya berdasarkan pertumbuhannya pada suhu 45°C dan tidak tumbuh pada suhu 10°C (Tamime dan Deeth,1980). Bakteri ini menyukai suasana mendekati netral dengan pH optimal untuk pertumbuhannya adalah 6,5 (Helferich dan Wethoff,1980). Bakteri *Lactobacilus* tumbuh sangat baik pada pH 5,5 dan pertumbuhannya terhenti pada keasaman pH 3,8. Helferich dan Westhoff (1980) menyatakan bahwa bakteri ini mempunyai suhu optimum untuk pertumbuhannya dan menyukai suasana agak asam (pH 5,5).Suhu optimum bagi pertumbuhan *S.Thermophilus* adalah 37°C dan *L.bulgaricus* 45°C. Jika kedua bakteri itu diinokulasi pada suhu 45°C (pH 6,6 -6,8), *S.Thermophilus* mula-mula tumbuh lebih baik dan setelah pH menurun karena dihasilkan asam laktat, maka *L.bulgaricus* akan tumbuh lebih baik (Pederson, 1977). Menurut Moon dan Reinbold (1975), kultur campuran *S.thermophilus* dan *L.bulgaricus* menghasilkan lebih banyak asam

daripada bila hanya digunakan satu jenis kultur. Karena itu perbandingan kedua bakteri ini harus dipertahankan 1:1 agar asam yang diproduksi terbentuk dengan cepat (Anonymous, 1979).

Menurut Frazier dan Westhoff (1978), starter terbaik untuk pembuatan yoghurt adalah campuran *L. bulgaricus* dan *S. thermophilus*. Dosis starter yang diberikan akan mempengaruhi tingkat keasaman yoghurt yang dihasilkan. Biasanya dengan dosis 2-5% starter yoghurt yang aktif dan suhu inkubasi 45°C selama 4-6 jam akan menghasilkan yoghurt dengan keasaman 0,7-1,0% (Dewipadma, 1978) .

Alat pembuatan yoghurt, sebelumnya pernah diteliti oleh saudara Widya Anggraeni, ST. lulusan S1 Teknik Elektro Universitas Brawijaya pada tahun 2006, yang mengangkat judul “Pemantauan pH dan Suhu Proses Fermentasi Dalam Pembuatan Yoghurt Berbasis Mikrokontroler AT89C51”. Dalam penelitiannya, saudara Widya membuat suatu alat pembuatan yoghurt dengan pH sebagai referensinya. Peneliti disini akan melakukan cara lain, dimana akan dibuat suatu alat pembuatan yoghurt yang memperhatikan habitat dari bakteri fermentasi dengan cara mengendalikan suhu (40-45°C) dan menentukan waktu efektif (4-6 jam) sehingga didapatkan pH yoghurt yang baik (pH4-4,5) dengan waktu yang seminimal mungkin.

Penelitian ini membahas tentang pengendalian suhu fermentasi susu dengan cara mengendalikan putaran dimmer dengan penentuan waktu efektif sehingga didapatkan pH yang sesuai. Dimmer tersebut berfungsi mengatur besarnya tegangan yang masuk ke dalam kompor pada sistem fermentasi susu sehingga panas dari kompor bisa diatur. Sensor suhu yang digunakan merupakan sensor suhu PT100, karena keluaran sensor suhu ini berupa resistansi, maka dibutuhkan suatu rangkaian pengubah dari resistansi menjadi tegangan, rangkaian tersebut merupakan rangkaian jembatan *wheatstone*. Sensor suhu PT100 yang sudah dihubungkan dengan rangkaian jembatan *wheatstone* dan sensor pH *Glass Electrode* memiliki keluaran tegangan yang sangat rendah, untuk itu dibutuhkan rangkaian pengondisi sinyal. Rangkaian Pengondisi Sinyal yang digunakan merupakan rangkaian penguat instrumentasi, karena rangkaian penguat instrumentasi ini memiliki resistansi yang besar. Sistem fermentasi pada penelitian ini berbasis PLC (*Programmable Logic Control*) Siemens Simatic S7-200. Kontroler yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kontroler Proporsional Integral. Kontroler Proporsional Integral digunakan pada sistem kontrol



pengendalian suhu fermentasi susu karena pengontrolannya relatif cepat dan mengurangi *error* pengontrolan. HMI (*Human Machine Interface*) digunakan sebagai perangkat visualisasi sistem fermentasi susu untuk memudahkan monitor dan pengendalian sistem. HMI yang digunakan adalah Simatic HMI Panel. Diharapkan dengan menggunakan PLC, HMI, dan kontroler PI, suhu fermentasi susu dapat dikendalikan.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dalam latar belakang, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana merancang suatu sistem pengendalian suhu dengan menentukan waktu efektif proses fermentasi dalam pembuatan yoghurt berbasis PLC dan HMI sehingga didapatkan derajat keasaman yang tepat?
- 2) Bagaimana merancang dan membuat sistem elektronika yang dapat menunjang penggunaan sensor suhu dalam mengendalikan suhu pada saat proses fermentasi?
- 3) Berapa parameter yang dibutuhkan untuk mengontrol sistem pengendalian suhu sehingga didapatkan sistem yang ideal?
- 4) Bagaimana merancang dan membuat sistem elektronika yang dapat menunjang penggunaan sensor pH sebagai data derajat keasaman yang didapatkan setelah proses fermentasi selesai dilaksanakan?

### 1.3. Batasan Masalah

Perancangan yang dilakukan untuk skripsi ini memiliki permasalahan yang dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

- 1) Perancangan dan pembuatan alat pengendalian suhu dengan menentukan waktu efektif proses fermentasi dalam pembuatan yoghurt yang digunakan adalah *prototype* dengan desain sendiri.
- 2) Susu yang digunakan merupakan susu yang telah dipasteurisasi sehingga proses dari pasteurisasi tidak dibahas dalam skripsi ini.
- 3) Pengendalian suhu diatur dengan menggunakan putaran dimmer yang mengontrol arus yang masuk pada kompor induksi sebagai pemanas tabung fermentasi.
- 4) Sensor suhu yang digunakan adalah PT100 dengan rentang 0-70 derajat Celcius.



- 5) Sensor pH yang digunakan adalah pH *Glass Electrode*.
- 6) Pembahasan ditekankan pada pengendalian suhu pada sistem berbasis PLC dan HMI.

#### 1.4. Tujuan

Skripsi ini bertujuan untuk merancang dan membuat suatu alat fermentasi susu berbasis PLC dan HMI dengan mengatur suhu (40-45°C) dengan menentukan waktu efektif (4-6jam) sesuai dengan yang direncanakan, sehingga didapatkan habitat yang baik untuk bakteri proses fermentasi dan dapat dihasilkan yoghurt yang memiliki pH (4-4,5).

#### 1.5. Sistematika Pembahasan

Skripsi ini terdiri dari enam bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

##### **BAB I      Pendahuluan**

Membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.

##### **BAB II     Tinjauan Pustaka**

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

##### **BAB III    Metodologi Penulisan**

Membahas metode penelitian dan perencanaan alat.

##### **BAB IV     Perancangan dan Pembuatan Alat**

Perancangan dan perealisasi sistem yang meliputi spesifikasi, prinsip kerja dan realisasi sistem.

##### **BAB V      Pengujian dan Analisis**

Membahas hasil pengujian sistem yang sudah dibuat, serta analisis hasil yang diperoleh.

##### **Bab VI     Kesimpulan dan Saran**

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

## BAB II

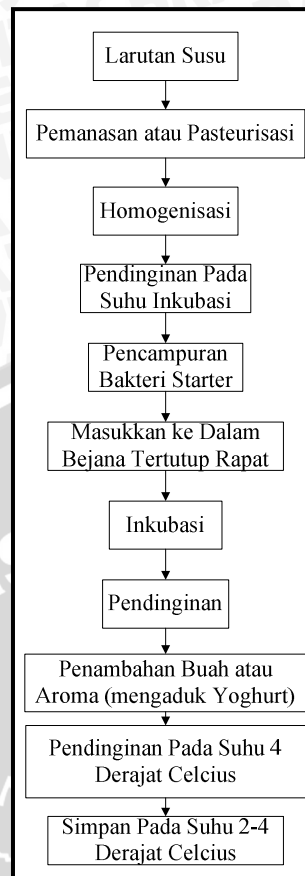
### TINJAUAN PUSTAKA

Dalam merencanakan dan merealisasikan sebuah alat fermentasi susu ini, maka dibutuhkan pemahaman tentang berbagai hal yang mendukung sistem ini. Pemahaman ini akan bermanfaat untuk merancang perangkat keras dan perangkat lunak sistem. Pengetahuan yang mendukung perencanaan dan realisasi alat meliputi yoghurt, sensor suhu, sensor derajat keasaman, rangkaian jembatan *wheatstone*, penguat operasional (Op.amp), ADC (*Analog To Digital Converter*), motor servo, PLC (*Programmable Logic Control*), HMI (*Human Machine Interface*) dan kontroler.

#### 2.1 Yoghurt

Susu asam kental (yoghurt) pertama kali dibuat di Bulgaria, yang terbuat dari perahan susu kambing atau susu sapi, diinokulasi pada 40°- 45°C dengan sebagian sumber susu asam. Untuk menjaga temperatur agar tetap konstan, maka susu yang sudah disuntik dengan sumber susu asam ditempatkan dalam suatu wadah dan dibungkus dengan kain yang berasal dari bulu binatang dan ditempatkan di dalam oven selama 8-10 jam, sampai menjadi halus dan menjadi cairan kental (Wood, 1998: 319).

Dengan teknologi saat ini yoghurt dapat dikatakan sebagai produk akhir dari kultur bakteri *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus delbrueckii* spp. *Bulgaricus* yang dapat berkembang biak pada jangkauan suhu antara 40°- 45°C dengan waktu 3-6 jam. Hubungan antara kedua bakteri starter ini dikenal sebagai proto-co-operation, yaitu kedua bakteri ini bersimbiosis saling menguntungkan dalam berinteraksi akan tetapi tidak terlalu bergantung satu sama lain. Masing-masing bisa berkembang biak secara tersendiri pada larutan susu, tetapi bisa menghasilkan rasa asam pada susu secara lebih cepat apabila keduanya berinteraksi. Inkubasi dilakukan hingga diperoleh keasaman yang diinginkan yaitu 0,85-0,95 persen (asam laktat) dengan nilai pH 4,4 4,5. Setelah itu produk didinginkan sampai suhu 5°C (Anonymous, 1979). Gambar 2.1 menerangkan proses produksi yoghurt secara komersial.



Gambar 2.1 Proses Produksi Yoghurt  
(Sumber: Adams, 2000:325)

Peningkatan asam laktat selama proses fermentasi sejalan dengan penurunan pH. Bagi minuman probiotik, peningkatan asam laktat atau penurunan pH menguntungkan karena dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen. Produk metabolit yang dihasilkan bakteri asam laktat dapat menghambat pertumbuhan bakteri *pseudomonas*, *E. Coli*, dan *Salmonella*.

## 2.2 Sensor suhu

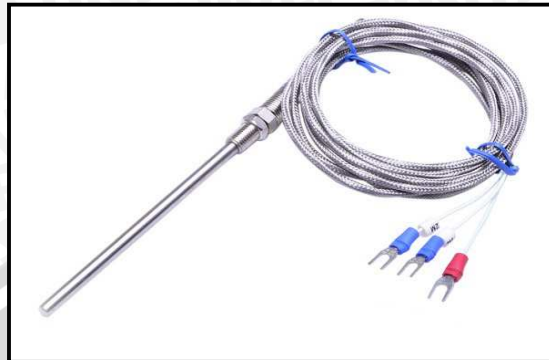
Sensor suhu berfungsi sebagai transduser yang mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk resistansi. Sensor suhu harus mempunyai kepekaan terhadap suhu yang diukur.

PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*) dengan **koefisien suhu positif**, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu.

PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karenanya namanya diawali dengan ‘PT’. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi



100 ohm. Ada juga PT1000 yang dikalibrasi pada nilai resistansi 1000 ohm pada suhu 0°C. Gambar 2.2 menerangkan bentuk fisik sensor PT100.



Gambar 2.2 Sensor PT100  
(Sumber : [es.aliexpress.com](http://es.aliexpress.com))

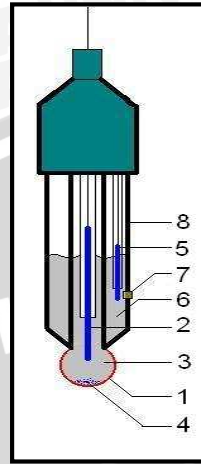
Menurut keakurasiannya, terdapat dua jenis PT100, yakni Class-A dan Class-B. **PT100 Class-A** memiliki akurasi  $\pm 0,06$  ohm dan **PT100 Class-B** memiliki akurasi  $\pm 0,12$  ohm. Keakurasiannya ini menurun seiring dengan naiknya suhu. Akurasi PT100 Class-A bisa menurun hingga  $\pm 0,43$  ohm ( $\pm 1,45^\circ\text{C}$ ) pada suhu  $600^\circ\text{C}$ , dan PT100 Class-B bisa menurun hingga  $\pm 1,06$  ohm ( $\pm 3,3^\circ\text{C}$ ) pada suhu  $600^\circ\text{C}$ .

### 2.3 Sensor Derajat Keasaman

Elektrode kaca adalah sebangsa elektroda selektif ion dibuat dari membran kaca *doped* yang sensitif untuk satu ion spesifik. Ini merupakan salah satu bagian penting dari peralatan untuk analisis kimia dan studi-studi *physico-chemical*. Dalam praktik modern, yang lebih sering digunakan secara luas ion membranosa elektrode-elektrode selektif (ISE, termasuk kaca) adalah bagian dari sel galvanik.

Elektroda kaca biasa digunakan untuk pengukuran pH. Ada juga elektrode-elektrode kaca ion sensitif khusus digunakan untuk penentuan konsentrasi litium, natrium, amonium, dan ion-ion lain. Elektrode-elektrode kaca telah digunakan dalam lingkup penerapan yang luas mulai dari riset murni, pengendalian proses industri, menganalisa makanan-makanan, kosmetika dan perbandingan indikator-indikator lingkungan dan peraturan lingkungan: mikroelektrode ukuran-ukuran potensial listrik membran satu sel biologis, ketajaman analisis tanah, dan lain-lain.

Ciri khas pH probe modern adalah kombinasi yang menggabungkan kedua elektroda kaca dan elektroda referensi menjadi satu bagian. Susunan dari elektroda tersebut ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ilustrasi penampang melintang dari pH Probe  
(Sumber: *Glass electrode scheme*)

Keterangan nomor dari gambar 2.3 adalah sebagai berikut:

- 1) Bola kaca pendeteksi dari probe, terbuat dari bahan kaca spesifik
- 2) Elektroda internal terbuat dari elektrode perak klorida atau elektrode *calomel*
- 3) Cairan *buffer* KCl dengan pH netral (pH = 7,0)
- 4) Endapan AgCl karena penggunaan elektrode perak klorida
- 5) Elektroda referensi dengan tipe dan bahan yang sama seperti nomor 2)
- 6) Cairan referensi internal, biasanya terbuat 0,1 mol/L KCl
- 7) Sambungan poros yang terbuat dari keramik, untuk pengisian cairan *buffer*
- 8) Bagian luar probe terbuat dari kaca non konduktif.

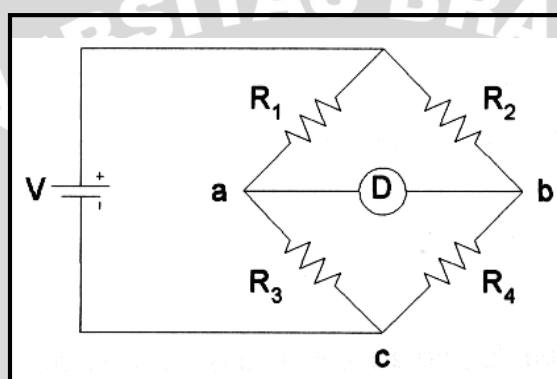
Berikut adalah karakteristik dari elektroda pH ideal:

- $V_o = 0$  Volt pada pH netral (pH=7)
- Tegangan keluaran positif pada kondisi asam (pH<7)
- Tegangan keluaran negatif pada kondisi basa (pH>7)
- Rentang pengukuran pH adalah 0-14, asam kuat hingga basa kuat
- Menghasilkan tegangan sebesar -59,16 mV per satuan pH pada suhu ruang.
- Rentang pengukuran pada skala penuh, pH 0 asam kuat dan pH 14 basa kuat, menghasilkan +/- 0,414 Volts pada 25 °C.

## 2.4 Rangkaian Jembatan Wheatsone

PT100 menginisiasikan perubahan hambatan dengan sangat kecil karena itu, pengukuran PT100 menggunakan prinsip dari jembatan *Wheatsone*. Rangkaian jembatan ini digunakan untuk mengkonversi perubahan impedansi menjadi perubahan tegangan, terutama untuk fraksi perubahan yang kecil.

Keluarannya dapat dibuat berubah di sekitar nol, sehingga penguatan dapat digunakan untuk memperbesar level sinyal (guna meningkatkan sensitivitas terhadap perubahan impedansi). Perancangan menggunakan jembatan *wheatsone* ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Jembatan Wheatsone  
(Sumber : pengukuran sistem instrumentasi,1997:108)

$$\Delta V = V_a - V_b \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :  $V_a$  = potensial titik a terhadap titik c

$V_b$  = potensial titik b terhadap titik c

$$V_a = \frac{VR_3}{R_1 + R_3} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$V_b = \frac{VR_4}{R_2 + R_4} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\Delta V = \frac{VR_3}{R_1 + R_3} - \frac{VR_4}{R_2 + R_4} = V \frac{R_3R_2 - R_1R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} \dots\dots\dots (2.4)$$

$\Delta V$  akan sama dengan nol (setimbang) bila:  $R_3R_2 = R_1R_4$  .



## 2.5 Penguat Operasional (Op-Amp.)

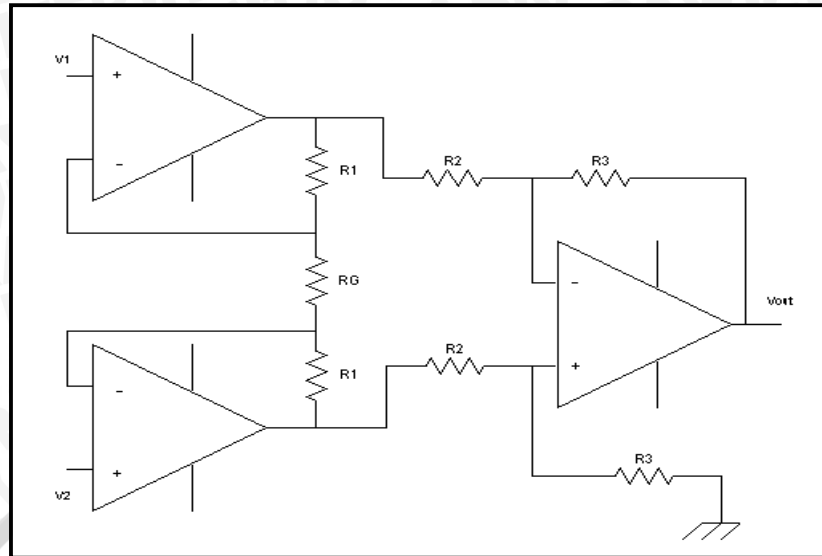
Penguat operasional (*operational amplifier*) atau di singkat op-amp merupakan salah satu komponen analog yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronika. Aplikasi op-amp yang paling sering dipakai antara lain adalah rangkaian penguat pembalik, penguat tak pembalik, *integrator* dan *differensiator*. Op-amp pada dasarnya adalah penguat diferensial yang memiliki dua masukan. Masukan op-amp dinamakan input *inverting* dan *noninverting*. Op-amp ideal memiliki *open loop gain* (penguatan loop terbuka) yang tak terhingga besarnya. Penguatan yang besar ini membuat op-amp menjadi tidak stabil, dan penguatannya menjadi tidak terukur (*infinite*). Disinilah peran rangkaian umpan balik negatif diperlukan, sehingga op-amp dapat dirangkai menjadi aplikasi dengan nilai penguatan yang terukur (*finite*).

Berikut ini adalah karakteristik dari op-amp ideal:

- Penguatan tegangan lingkar terbuka (*open-loop voltage gain*) tak terhingga.
- Tegangan *offset* keluaran (*output offset voltage*) sama dengan nol.
- Hambatan masukan (*input resistance*) tak terhingga.
- Hambatan keluaran (*output resistance*) sama dengan nol.

Pada penelitian ini, op-amp digunakan satu jenis penguat, dimana penguat tersebut digunakan sebagai penguat instrumentasi. Penguat instrumentasi merupakan suatu penguat di mana tegangan keluarannya atau  $V_o$  merupakan hasil selisih antara kedua buah tegangan masukan pada terminal *inverting* dan *non-inverting*nya. Rangkaian penguat instrumentasi ditunjukkan pada Gambar 2.5. Rumus umum yang berlaku untuk penguat instrumentasi adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_G}\right) \left(\frac{R_3}{R_2}\right) (V_2 - V_1) \dots\dots\dots (2.6)$$

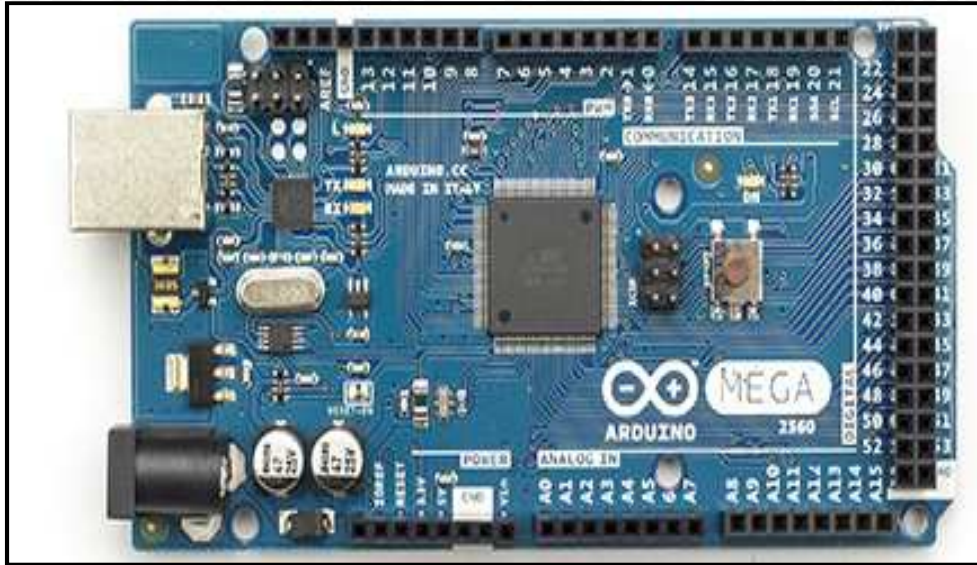


Gambar 2.5 Penguat Instrumentasi  
(Sumber: Dasar Elektronika)

## 2.6 Arduino Mega

Arduino Mega dalam alat fermentasi ini digunakan sebagai *Analog to Digital Converter* (ADC) dari keluaran PT100 dan sensor pH *Glass Electrode* karena PLC tipe *CPU 226* tidak memiliki input analog.

Arduino Mega adalah board mikrokontroler berbasis ATmega 168/328. Memiliki 53 pin input dari output digital dimana 15 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 16 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang-ke Mega berbeda dengan semua board sebelumnya dalam hal koneksi USB-to-serial yaitu menggunakan fitur Atmega8U2 yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial berbeda dengan board sebelumnya yang menggunakan chip FTDI *driver* USB-to-serial. Gambar 2.6 menunjukkan bentuk fisik Arduino Mega.



Gambar 2.6 Arduino Mega  
(Sumber : Arduino)

### 2.6.1. Daya

Arduino Mega dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal (otomatis). Eksternal (non-USB) daya dapat berasal baik dari AC-ke adaptor-DC atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan plug jack pusat-positif ukuran 2.1mm konektor POWER. Ujung kepala dari baterai dapat dihubungkan kedalam Gnd dan Vin pin header dari konektor POWER. Kisaran kebutuhan daya yang disarankan untuk board Mega adalah 7 sampai dengan 12 volt, jika diberi daya kurang dari 7 volt kemungkinan pin 5V Mega dapat beroperasi tetapi tidak stabil kemudian jika diberi daya lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan dapat merusak board Mega.

### 2.6.2. Memory

ATmega328 memiliki 32 KB (dengan 0,5 KB digunakan untuk bootloader), 2 KB dari SRAM dan 1 KB EEPROM.

### 2.6.3. Input dan Output

Masing-masing dari 53 pin digital di Mega dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*, beroperasi dengan daya 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki *internal pull-up resistor* (secara *default* terputus) dari 20-50 kOhms.



## 2.7 Kompor Listrik

Kompor listrik adalah kompor yang energinya berasal dari listrik. Berbeda dengan kompor gas biasa dimana energi panasnya didapat dari pembakaran gas, kompor listrik mendapatkan energi panas dari pemanasan elemen pemanas di dalamnya. Kompor listrik cenderung lebih praktis daripada kompor gas karena pengguna tinggal menyambungkan kompor tersebut pada sumber listrik untuk melakukan pemanasan. Kekurangan kompor listrik adalah membutuhkan waktu yang cukup lama untuk memanaskan elemen pemanas di dalamnya.

Prinsip kompor listrik tipe induksi pada dasarnya kawat konduktor dialiri arus listrik, maka di sekelilingnya akan terbentuk garis gaya magnet. Jika kawat konduktor itu dibentuk kumparan dan di dekatnya diletakkan materi yang dapat menghantarkan listrik (biasanya logam), maka logam tersebut akan menerima pengaruh garis gaya magnet lalu di dalam logam tersebut akan mengalir arus eddy. Setiap logam biasanya memiliki hambatan listrik, dan arus yang mengalir dalam logam tersebut akan menghasilkan joule heating sebesar  $P = I^2 \times R$ , dimana P adalah daya, I untuk arus, dan R untuk hambatan. Daya yang keluar ini, merupakan daya dari proses induksi.

Kompor listrik yang digunakan pada penelitian ini adalah kompor listrik induksi Sigmatic SPC 1 EC. Kompor listrik tersebut memiliki rentang kerja daya antara 80-700 Watt. Kompor induksi bekerja akibat efek induksi yang diakibatkan oleh arus listrik yang melewati kumparan yang ada dalam kompor tersebut. Sama seperti kompor listrik biasa, kompor induksi juga menggunakan energi listrik. Perbedaannya terletak dari cara kerjanya. Kompor listrik biasa menggunakan filamen untuk menghasilkan panas, sedangkan kompor induksi menggunakan alat masak itu sendiri (panci atau kuah) untuk menghasilkan panas. Gambar 2.7 menunjukkan bentuk fisik kompor listrik induksi Sigmatic SPC1EC- Putih.



Gambar 2.7 Kompor Listrik  
(Sumber : blanja.com)

## 2.8 Motor Servo

Berbeda dengan motor DC dan motor Stepper, motor servo adalah sebuah motor dengan sistem *closed feedback* di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri atas sebuah motor, serangkaian *internal gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut putaran servo. Sedangkan sudut sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.

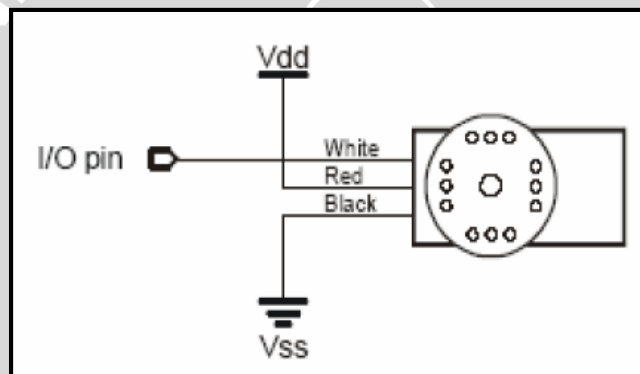
Motor servo mampu bekerja dua arah (*CW* dan *CCW*). Arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal *PWM* pada bagian pin kontrolnya. Gambar 2.8 menunjukkan gambar fisik motor servo.



Gambar 2.8 Motor Servo Parallax  
(Sumber : Parallax, Inc.)

Motor servo merupakan motor yang berputar lambat, dimana biasanya ditunjukkan oleh rate putarannya yang lambat, namun demikian memiliki torsi yang kuat karena *internal gear*-nya. Gambar 2.9 menunjukkan konfigurasi pin pengkabelan motor servo. Karakteristik motor servo adalah sebagai berikut :

- Memiliki 3 jalur kabel : *power*, *ground*, dan *control*. Gambar 2.9 menjelaskan 3 jalur kabel pada motor servo
- Pin *Control* untuk mengendalikan posisi.
- Operasional dari servo motor dikendalikan oleh sebuah pulsa selebar  $\pm 20$  ms, dimana lebar pulsa antara 0.5 ms dan 2 ms menyatakan akhir dari range sudut maksimum.
- Konstruksi didalamnya meliputi *internal gear*, *potensiometer*, dan *feedback control*.



Gambar 2.9 Konfigurasi Pin Pengkabelan Motor Servo  
(Sumber : Parallax, Inc.)

Secara umum terdapat dua jenis motor servo, yaitu :

- Motor Servo *Standar 180°*

Motor servo jenis ini merupakan motor yang hanya mampu bergerak dua arah (*CW* dan *CCW*) dan mempunyai *defleksi* masing-masing sudut mencapai  $90^\circ$  sehingga total *defleksi* sudut dari kanan–tengah–kiri adalah  $180^\circ$ .

- Motor Servo *Continuous*

Motor servo jenis ini mampu bergerak dua arah (*CW* dan *CCW*) dan tanpa batasan *defleksi* sudut putar (dapat berputar secara kontinyu) sehingga motor ini berputar  $360^\circ$ .

Pengaturan sudut motor servo diperlukan untuk mengetahui gerakan dari motor servo dan pulsa yang harus diberikan untuk bergerak kekanan atau bergerak ke kiri.



Dalam Gambar 2.10 diasumsikan bahwa saat diberikan sinyal periodik dengan lebar 1 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 0°, jika diberi sinyal 1,5 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 90°, dan jika diberi sinyal 2 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 180°. Dari kondisi tersebut bisa ditarik kesimpulan bahwa untuk mengatur sudut putaran motor servo diperlukan sinyal dengan lebar pulsa seperti pada persamaan berikut:

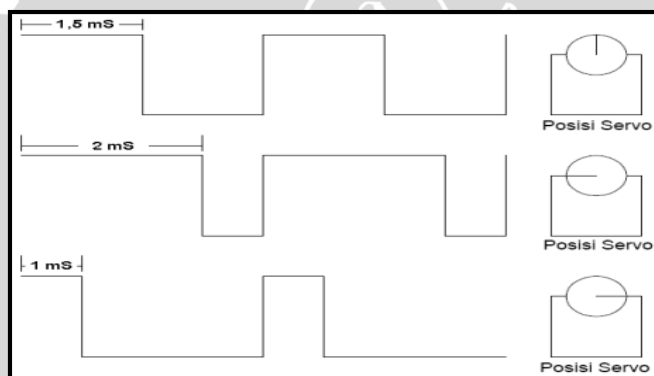
$$S = D \left( \frac{1000}{180} \right) + 1000 \mu s \dots\dots\dots (2.7)$$

atau

$$S = (0,18)D + 1000 \mu s \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan: *S = Lebar Pulsa dalam μs*

*D = Sudut putar servo dalam derajat*



Gambar 2.10 Pengaturan Sudut Motor Servo  
(Sumber : Parallax, Inc.)

### 2.9 Programmable Logic Control (PLC) Simatic S7200

PLC merupakan singkatan dari *Programmable Logic Controller*. *Programmable Logic Controller* menurut Capiel (1982) adalah sistem elektronik yang beroperasi secara *digital* dan didesain untuk pemakaian di lingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, perwaktuan, pencacahan dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O *digital* maupun analog (Kusuma, 2013).



Secara umum fungsi PLC adalah sebagai berikut:

1. *Sequential Control*. PLC memproses *input* sinyal biner menjadi *output* yang digunakan untuk keperluan pemrosesan teknik secara berurutan (sekuensial), disini PLC menjaga agar semua *step* atau langkah dalam proses sekuensial berlangsung dalam urutan yang tepat.
2. *Monitoring Plant*. PLC secara terus menerus memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, tingkat ketinggian) dan mengambil tindakan yang diperlukan sehubungan dengan proses yang dikontrol (misalnya nilai sudah melebihi batas) atau menampilkan pesan tersebut pada operator.

PLC yang digunakan pada penelitian ini adalah PLC Siemens Simatic S7-200. Simatic S7-200 merupakan PLC jenis *modular*, dimana bagian-bagian PLC dibagi menjadi modul-modul yang masing-masing memiliki fungsi berbeda. Pada penelitian ini digunakan modul CPU 226. Gambar 2.11 menunjukkan bentuk CPU 226. CPU 226 merupakan prosesor pusat PLC yang memiliki karakteristik umum:

- a. Sumber tegangan DC 24 Volt.
- b. 40 port *input* dan *output digital* dengan 2 *output PWM*.



Gambar 2.11 CPU 226 PLC Siemens Simatic S7-200  
(Sumber: 51lm.cn)

## 2.10 *Human Machine Interface (HMI)*

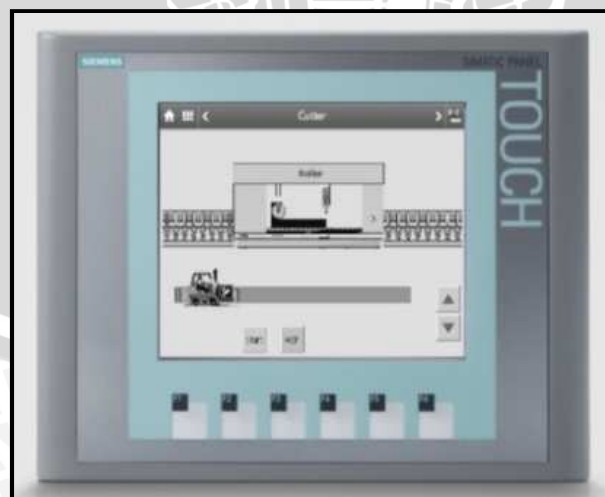
HMI adalah singkatan dari *Human Machine Interface*. *Human Machine Interface (HMI)* adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin. HMI dapat berupa pengendali dan visualisasi status, baik dengan manual maupun melalui visualisasi komputer yang bersifat *real time*. Tujuan digunakannya

HMI adalah untuk meningkatkan interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan di layar monitor.

Dalam industri manufacture HMI dapat berupa suatu tampilan *Graphic User Interface* (GUI) pada layar monitor yang akan dihadapi oleh operator mesin maupun pengguna yang membutuhkan data kerja mesin. HMI mempunyai kemampuan dalam hal visualisasi untuk *monitoring* dan data mesin yang terhubung secara *online* dan *real time*. HMI akan memberikan suatu gambaran kondisi mesin yang berupa peta mesin produksi dimana pada layar monitor dapat dilihat bagian mesin mana yang sedang bekerja.

Selain itu pada HMI terdapat juga visualisasi pengendali mesin berupa *push button*, *input reference* dan sebagainya yang dapat difungsikan untuk mengontrol atau mengendalikan mesin sebagaimana mestinya. Selain itu pada HMI dapat ditampilkan alarm jika terjadi kondisi bahaya di dalam mesin. Sebagai tambahan, HMI dapat juga menampilkan data-data rangkuman kerja mesin secara grafik.

Sistem HMI biasanya bekerja secara *online* dan *real time* dengan membaca data yang dikirimkan melalui *I/O port* yang digunakan oleh *controller*. *Port* yang biasanya digunakan untuk *controller* dan akan dibaca oleh HMI antara lain adalah *port com*, *port USB*, *port RS232* dan ada pula yang menggunakan *port serial*. Gambar 2.12 menunjukkan Simatic HMI Panel, HMI yang akan digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2.12 Simatic HMI Panel  
(Sumber: [automatyka.siemens.pl](http://automatyka.siemens.pl))



## 2.11 KONTROLER

Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Di samping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolak ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K.,1997:1). Analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespons *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output*nya berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respons transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

Dalam sistem pengendalian terdapat 2 macam *loop*:

### 1. Pengendalian dengan *loop* terbuka

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

### 2. Pengendalian dengan *loop* tertutup

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

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

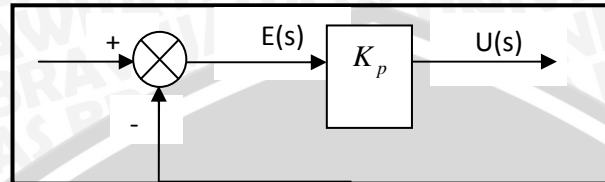
$$m(t) = K_p e(t) \dots\dots\dots (2.9)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan  $K_p$  adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Diagram Blok Kontroler Proporsional

(Sumber: Ogata K., 1997)



### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan penelitian ini berdasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiannya agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

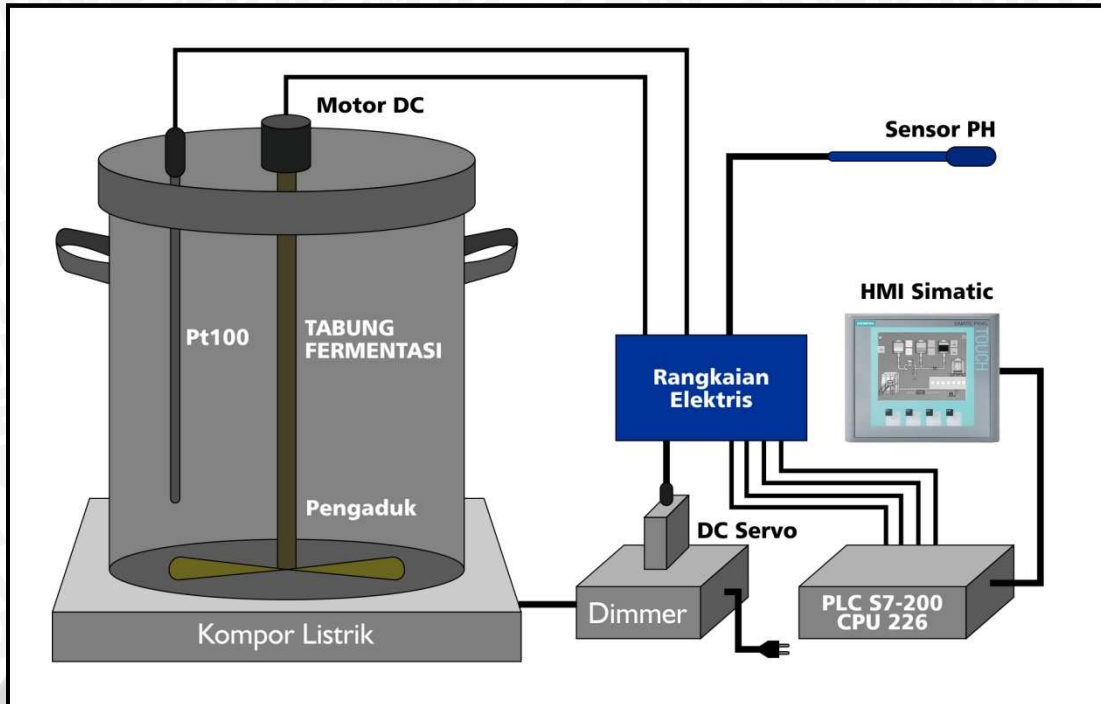
#### 3.1. Penentuan Spesifikasi Alat

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

1. Alat mampu melakukan fermentasi susu dengan memperhatikan habitat hidup bakteri *Lactobacillus bulgarius* dan *Streptococcus thermophilus* sehingga pH pada yoghurt antara 4-4,5.
2. Menggunakan sensor suhu untuk mengetahui suhu susu selama proses fermentasi.
3. Menggunakan Sensor pH untuk mengetahui tingkat keasaman dari hasil yoghurt.
4. PLC digunakan sebagai pengontrol utama.
5. Menggunakan kompor listrik untuk menghasilkan panas.
6. Menggunakan Analog to Digital Converter (Arduino Mega), yang digunakan sebagai pengubah data analog ke digital sehingga dapat diolah oleh PLC.
7. Menggunakan pengaduk untuk meratakan panas pada susu.
8. Bentuk fisik alat berupa panci konvensional dengan pengaduk agar alat dapat bekerja dengan baik.
9. Sampel volume susu sebesar 1,5 liter, dengan hasil akhir setelah fermentasi adalah yoghurt.

Berdasarkan spesifikasi yang dibutuhkan, dibuatlah perancangan sistem fermentasi. Gambar 3.1 menunjukkan perancangan sistem fermentasi susu.





Gambar 3.1 Sistem Fermentasi Susu

### 3.2. Studi Literatur

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

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

Studi literatur yang dilakukan bertujuan untuk mengkaji hal-hal yang berhubungan dengan teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan perealisasiian alat. Pengetahuan yang mendukung perencanaan dan realisasi alat meliputi:

1. Teori pembuatan yoghurt
2. Teori umum mengenai sensor suhu.
3. Teori umum sensor *Glass Electrode*
4. Teori umum mengenai jembatan *wheatstone*.
5. Teori mengenai rangkaian penguat operasional (Op.amp).
6. Teori mengenai ADC (*Analog To Digital Converter*).
7. Teori umum mengenai motor servo.

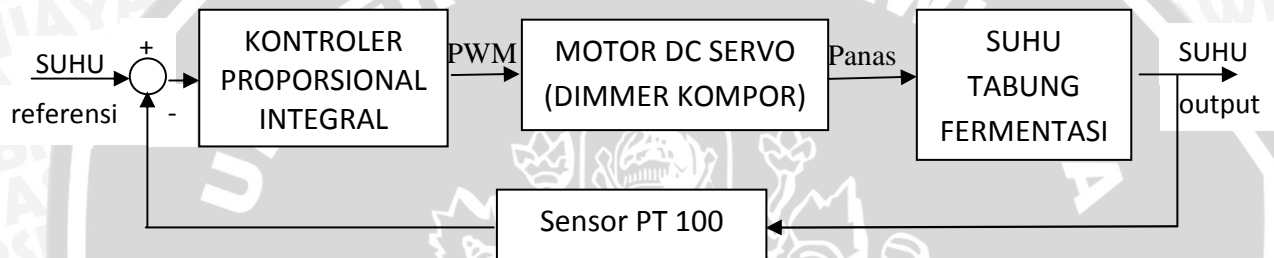
8. Teori mengenai kontroler PLC (*Programmable Logic Control*) dan HMI (*Human Machine Interface*).

### 3.3. Perancangan Alat

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

#### 3.3.1. Diagram Blok

Sistem kerja alat pembuat yoghurt terdiri dari beberapa komponen utama yaitu : sensor suhu, sensor pH, rangkaian Pengondisi sinyal, ADC, PLC dan HMI. Sistem kerja alat ditunjukkan dalam Gambar 3.2 melalui sebuah diagram blok.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem

Keterangan dari diagram blok di atas adalah sebagai berikut:

- Sebagai *set point* adalah suhu referensi sebesar 41 derajat Celcius yang telah dikonversi ke dalam tegangan dengan menggunakan rangkaian jembatan wheatstone dan penguat menjadi 4,93278.
- Pusat pengendali utama Gambar 3.2 diagram blok di atas adalah PLC (*Programmable Logic Controller*) yang terhubung dengan HMI (*Human Machine Interface*). Keluaran PLC berupa PWM (*Pulse Width Modulation*) sebesar 24 V, sehingga diperlukan rangkaian pengondisi sinyal sebelum dihubungkan dengan aktuator.
- Aktuator dalam diagram balok di atas adalah motor DC Servo yang memiliki rentang tegangan 0-5 V. Motor DC Servo tersebut akan menggerakkan putaran dimmer sehingga arus yang masuk pada kompor listrik dapat berubah-ubah.
- PT100 digunakan sebagai *feedback* sistem yang dihubungkan dengan rangkaian pengondisi sinyal agar menghasilkan tegangan yang sesuai dengan rentang tegangan masukan kontroler.

### 3.3.2. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras meliputi meliputi perencanaan rangkaian sensor PT100, rangkaian pengkondisi sinyal, rangkaian optocoupler dan rangkaian driver.

### 3.3.3. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dibutuhkan PLC dan laptop atau Unit Personal Computer untuk mengendalikan perangkat keras. Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan cara membuat listing program untuk mikrokontroler yang dilakukan dengan perancangan *ladder diagram* pada *software* Step 7 Micro/Win untuk PLC *Siemens Simatic S7-200* dan perancangan program pada WinCC Flex 2008 untuk HMI Simatic HMI panel.

## 3.4. Pengujian Alat

Untuk memastikan bahwa sistem ini berjalan sesuai yang direncanakan maka perlu dilakukan pengujian alat meliputi perangkat keras (*hardware*) yang dilakukan baik tiap blok rangkaian maupun keseluruhan sistem.

### 3.4.1 Pengujian Tiap Blok

Pengujian tiap blok dilakukan dengan tujuan untuk menyesuaikan nilai masukan dan nilai keluaran tiap-tiap blok sesuai dengan perancangan yang dilakukan sebelumnya.

#### 3.4.1.1. Pengujian data sensor suhu PT 100

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah pembacaan sensor suhu PT 100 dapat membaca suhu dengan benar. Pengujian dikatakan berhasil ketika sensor suhu PT100 dapat membaca perubahan tiap suhu.

#### 3.4.1.2. Pengujian Pengondisi Sinyal Analog

Pengujian ini dilakukan untuk memeriksa kesesuaian data hasil penguatan terhadap berbagai masukan. Pengujian dikatakan berhasil ketika sensor suhu RPS dapat menguatkan tegangan dan dapat menunjukkan perbedaan suhu.

#### 3.4.1.3. Pengujian Motor DC Servo

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan pulsa PWM terhadap sudut putaran dan duty cycle pada motor DC servo. Pengujian dikatakan berhasil ketika masukan pulsa PWM memberikan pengaruh kepada sudut putaran servo dan *duty cycle*.



#### 3.4.1.4. Pengujian HMI

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah HMI dapat menampilkan data yang diprogram menggunakan PLC. Pengujian dikatakan berhasil ketika HMI dapat menunjukkan hasil grafik tren suhu dan PWM .

#### 3.4.2 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui unjuk kerja alat setelah perangkat keras dan perangkat lunak diintegrasikan bersama. Pengujian dikatakan berhasil ketika sistem dapat bekerja selama 4 jam dan hasil yoghurt menunjukkan keasaman antara pH 4-4,5.

### 3.5. Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan dilakukan setelah didapatkan hasil dari pengujian. Jika hasil yang diperoleh telah sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan maka alat tersebut telah memenuhi harapan dan memerlukan pengembangan untuk penyempurnaannya.



## BAB IV

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Dalam bab ini akan dibahas cara perancangan dan pembuatan alat fermentasi susu dalam pembuatan yoghurt. Perancangan alat meliputi perancangan perangkat keras dan perancangan software.

Perancangan perangkat keras terdiri atas perancangan rangkaian sensor suhu, perancangan rangkaian sensor pH, perancangan rangkaian *optocoupler* perancangan blok rangkaian pengkondisi sinyal dan rancangan pengondisi sinyal. Sedangkan untuk perancangan *software* meliputi *ladder* dan program untuk PLC dan HMI.

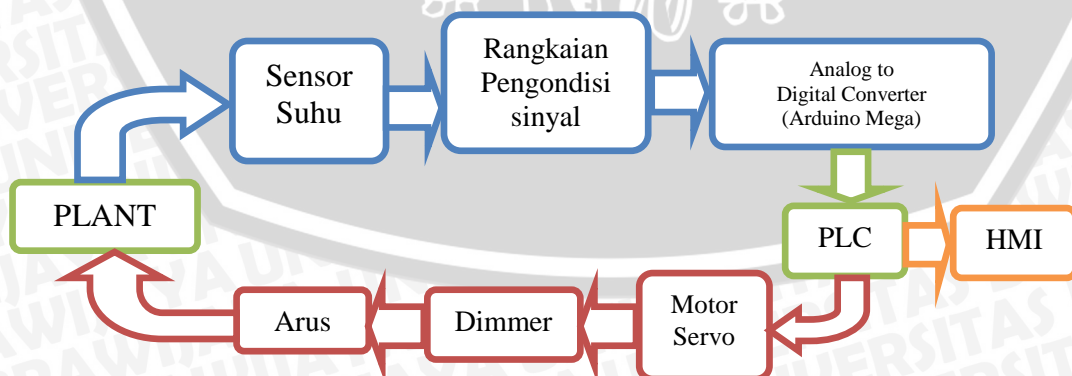
#### 4.1 Prinsip Kerja Sistem

- Catu daya yang digunakan terdiri atas 4 macam, yaitu:
  1. Catu daya 5V DC digunakan sebagai catu daya bagi motor DC Servo, motor DC, rangkaian *driver* motor, rangkaian pengondisi sinyal, dan rangkaian *driver* optik ADC.
  2. Catu daya +/- 12V DC digunakan sebagai catu daya bagi *op-amp* AD620.
  3. Catu daya 24V DC digunakan sebagai catu daya bagi PLC, HMI, dan rangkaian *driver* optik ADC.
  4. Catu daya 220V AC digunakan sebagai catu daya bagi kompor listrik.
- PT100 merupakan sensor suhu yang bersifat resistif, artinya jika suhu berubah maka resistansi PT100 juga akan berubah. Dengan demikian, tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal juga akan berubah. Rentang tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal adalah 0-5V dengan rentang suhu 0-70° C.
- Tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal akan berfungsi sebagai tegangan masukan analog bagi rangkaian ADC. Rangkaian ADC terdiri atas 2 bagian yaitu ADC Arduino MEGA dan rangkaian *driver* optik. Arduino MEGA berfungsi sebagai pemroses utama ADC yang akan menghasilkan keluaran digital 8 bit. Keluaran digital tersebut memiliki tegangan 0 atau 5 V. PLC hanya dapat memproses input 24V, sehingga diperlukan *driver* optik sekaligus *grounding* isolator menggunakan *optocoupler* 4N35.

- PLC menerima sinyal digital dari rangkaian *interface* ADC dan PLC berupa data 8 bit dan mengolahnya sehingga menghasilkan keluaran PWM.
- PWM keluaran PLC tersebut digunakan sebagai sinyal kontrol bagi motor DC servo. Tetapi karena keluaran PLC adalah 24V sedangkan motor DC servo hanya dapat menerima tegangan maksimal 6V, sehingga diperlukan *driver* optik menggunakan *optocoupler* untuk mengatur tegangan PWM menjadi 5V. Keluaran *optocoupler* memicu gate E-MOSFET IRLZ44N sebagai bagian dari *driver* motor DC servo.
- Motor DC servo bergerak sesuai dengan PWM yang diterima pada pin kontrolnya. Besarnya sudut putaran DC Servo tersebut menggerakkan *potensiometer dimmer* kompor listrik.
- HMI digunakan sebagai monitor proses fermentasi susu cair. Monitor tersebut mencakup monitor temperatur susu fermentasi dan output PWM secara *real time* dalam bentuk grafik fungsi waktu.
- Komunikasi antara PLC dengan PC menggunakan kabel RS232-USB. Sedangkan komunikasi antara PLC dengan HMI menggunakan kabel RS485.
- Sensor pH digunakan untuk melihat tingkat keasaman yoghurt.

#### 4.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras disini merupakan perancangan sistem elektronika terdiri dari rangkaian sensor suhu dan perancangan kontroler. Diagram blok dari perangkat keras yang akan dibuat pada penelitian ini, ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Blok Rancangan Elektronik



Penjelasan mengenai diagram blok rancangan elektronik Gambar 4.1 adalah sebagai berikut:

- 1) *Plant* merupakan suhu yang didikendalikan
- 2) Sensor Suhu berfungsi membaca perubahan suhu dalam *plant* (0-45)°C
- 3) Sinyal keluaran dari sensor yang berupa sinyal analog distabilkan oleh Rangkaian Pengondisi Sinyal
- 4) Sinyal yang sudah distabilkan kemudian dikondisikan oleh Rangkaian Pengondisi Sinyal menjadi data sinyal masukan bagi ADC pada Arduino Mega
- 5) PLC memproses suhu yang didapatkan dan mengontrol suhu agar tetap konstan. PLC juga digunakan untuk memproses besarnya pH pada *plant* ketika proses telah selesai dilakukan.
- 6) Dimmer digunakan sebagai mengatur besarnya tegangan kompor listrik, sehingga arus yang masuk pada kompor listrik sesuai dengan yang dibutuhkan.
- 7) Human Machine Interface digunakan untuk melihat hasil derajat keasaman hasil fermentasi.

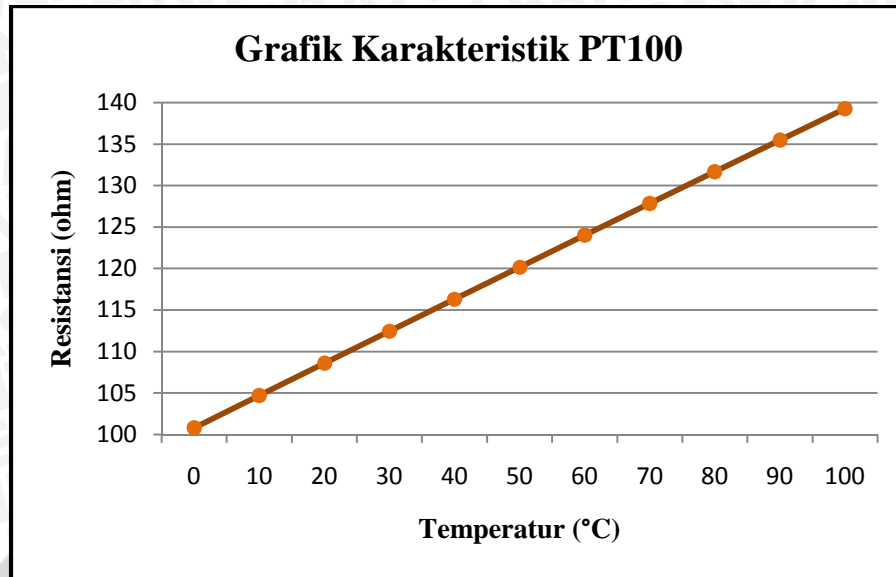
#### 4.2.1 Perancangan Rangkaian Sensor Suhu

Komponen rangkaian sensor suhu terdiri sensor suhu PT 100, rangkaian jembatan *wheatstone*, penguat instrumentasi dan rangkaian *low-pass filter*.

##### 4.2.1.1 PT 100 dan Rangkaian Jembatan Wheatstone

Sebelum merancang rangkaian pengondisi sinyal, perlu diketahui karakteristik sensor suhu PT100. Berdasarkan teori yang terdapat pada kajian teori, PT100 merupakan sensor suhu jenis RTD (*Resistance Temperature Detector*) dengan koefisien positif. Sehingga perubahan temperatur akan berbanding lurus dengan resistansi PT100.

PT100 yang digunakan pada alat fermentasi susu ini akan digunakan untuk pembacaan suhu antara 0-70° C. Gambar 4.2 menunjukkan grafik resistansi PT100 terhadap perubahan suhu pada rentang suhu 0-100° C.



Gambar 4.2 Grafik Karakteristik PT100  
(Sumber : Datasheet)

Berdasarkan datasheet PT100, didapatkan Grafik Karakteristik PT100. Nilai resistansi ketika 100°C adalah 139,26Ω, maka akan didapatkan persamaan resistansi PT100 terhadap perubahan suhu seperti dalam Persamaan 4.1.

$$\frac{R_{PT100} - 100}{139,26 - 100} = \frac{suhu - 0}{100 - 0}$$

$$\frac{R_{PT100} - 100}{38,48} = \frac{suhu}{100}$$

$$R_{PT100} - 100 = 0,385 (suhu)$$

$$R_{pt} = 100 + (0,385 \times suhu) \dots\dots\dots (4.1)$$

Dengan :  $R_{pt}$  adalah resistansi yang keluar pada PT 100

Suhu adalah besarnya panas (°C) yang diinginkan

PT 100 yang dibutuhkan, mampu mengukur suhu dari 0°C hingga 70°C. Dari kedua keadaan batas tersebut didapatkan rentang resistansi PT100 adalah 100 ohm hingga 126,95 ohm sesuai dengan Persamaan (4.2) dan Persamaan (4.3).

Pada suhu 0°C:

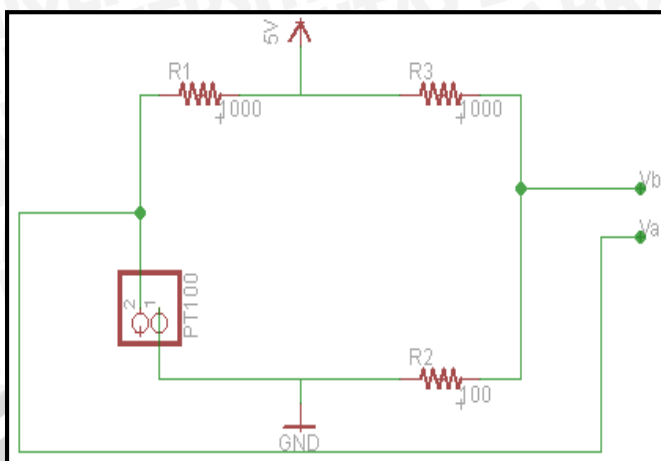
$$R_{pt} = 100 + (0,385\Omega/^{\circ}C \times 0^{\circ}C)$$

$$R_{pt} = 100 \Omega \dots\dots\dots (4.2)$$

Pada suhu 70°C:

$$R_{pt} = 100 + (0,385\Omega/^{\circ}C \times 70^{\circ}C)$$

$$R_{pt} = 126,95 \Omega \dots \dots \dots (4.3)$$



Gambar 4.3 Skematik PT 100 pada Rangkaian Jembatan Wheatsone

PT 100 adalah sensor suhu yang mengindera perubahan suhu dengan cara merubah pula besar resistansinya. Karena itu dibutuhkan suatu rangkaian untuk mengubah besar resistansi PT 100 ke dalam suatu tegangan tertentu. Hal ini dilakukan agar perubahan suhu yang dideteksi oleh PT 100 dapat dideteksi pada perubahan level tegangan. Rangkaian yang dibutuhkan PT 100 tersebut adalah rangkaian jembatan *wheatsone* seperti dalam Gambar 4.3.

Berdasarkan perhitungan pembagian tegangan jembatan *wheatsone* dalam Persamaan (4.4) dan (4.5) yang mengacudari Gambar 4.4, diperoleh nilai  $V_b$  selalu tetap yaitu 0,45 V seperti dalam Persamaan (4.7) dan (4.9) dan nilai maksimal  $V_a$  yaitu 0,5632 V dengan nilai minimum  $V_a$  0,45 V seperti dalam Persamaan (4.8) dan (4.6).

$$\frac{R_{pt}}{R_{pt}+R_1} \times 5 = V_a \dots \dots \dots (4.4)$$

$$\frac{R_3}{R_3+R_2} \times 5 = V_b \dots \dots \dots (4.5)$$

Dengan :  $R_1, R_2$  dan  $R_3$  adalah nilai resistasi yang ada dalam Gambar 4.4

$V_a$  adalah nilai tegangan pada titik A seuai dalam Gambar 4.4

$V_b$  adalah nilai tegangan pada titik B sesuai dalam Gambar 4.4

Pada suhu  $0^\circ\text{C}$ :

$$V_a = \frac{100\Omega}{1100\Omega} \times 5V = 0,45 V \dots \dots \dots (4.6)$$

$$V_b = \frac{100\Omega}{1100\Omega} \times 5V = 0,45 V \dots \dots \dots (4.7)$$





Pada suhu 70°C:

$$V_a = \frac{126,95\Omega}{1126,95\Omega} \times 5V = 0,5632 V \dots\dots\dots (4.8)$$

$$V_b = \frac{100\Omega}{1100\Omega} \times 5V = 0,45 V \dots\dots\dots (4.9)$$

Selanjutnya, keluaran dari jembatan *wheatstone* dapat kita ketahui dari pengurangan  $V_a$  dan  $V_b$ , diperoleh tegangan minimum keluaran jembatan *wheatstone* 0 V seperti dalam Persamaan (4.11) dan tegangan maksimum 0,1132 V seperti dalam Persamaan (4.12).

$$\Delta V = V_a - V_b \dots\dots\dots (4.10)$$

Dimana :  $\Delta V$  adalah nilai keluaran Jembatan Wheatstone

Pada suhu 0°C:

$$\Delta V = 0,45V - 0,45V$$

$$\Delta V = 0 V \dots\dots\dots (4.11)$$

Pada suhu 70°C:

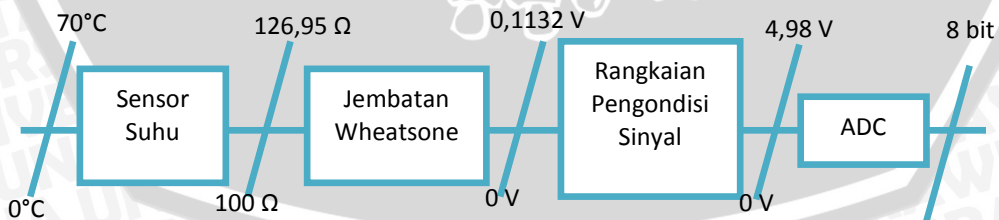
$$\Delta V = 0,5632V - 0,45V$$

$$\Delta V = 0,1132 V \dots\dots\dots (4.12)$$

Dalam perancangan ini juga digunakan sistem dimana suhu dijaga agar tidak melebihi batas tertentu yang nilainya dapat dihubungkan oleh operator. Apabila nilai suhu melebihi kondisi batas atas maka pendingin akan dijalankan hingga suhu kembali ke keadaan batas bawah yang nilainya dihubungkan juga oleh operator.

**4.2.1.2 Penguat Instrumentasi dan Low Pass Filter**

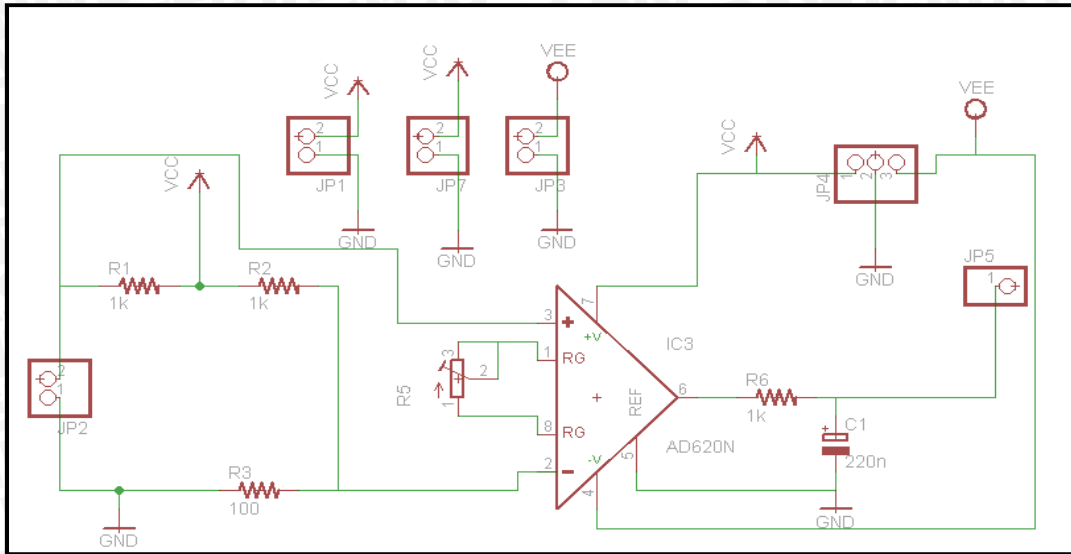
Untuk mempermudah matematis perhitungan pengondisi sinyal, dibuatlah ilustrasi seperti Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Spesifikasi Input dan Output penguat instrumentasi PT 100

Rangkaian keseluruhan Pengondisi sinyal ditunjukkan dalam Gambar 4.5.





Gambar 4.5 Skematik Rangkaian Sensor Suhu

Setelah perubahan resistansi pada PT 100 dapat diubah menjadi perubahan tegangan pada range 0–0,1132 V, dibutuhkan suatu rangkaian kembali yang dapat mengubah level tegangan 0–0,1132 V menjadi 0-4,98 V. Hal ini disebabkan karena ADC bertegangan referensi ( $V_{ref} = 5 \text{ V}$ ) menerima range tegangan yaitu sebesar 0-4,98 V dan resolusi ADC sebesar (0,019532 V) seperti perhitungan dalam Persamaan (4.13) dan (4.14). Rangkaian tersebut adalah rangkaian penguat instrumentasi.

$$V_{in} = V_{ref}(a_1 2^{-1} + a_2 2^{-2} + a_3 2^{-3} + a_4 2^{-4} + a_5 2^{-5} + a_6 2^{-6} + a_7 2^{-7} + a_8 2^{-8})$$

$$V_{in} = 5 \text{ V} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right)$$

$$V_{in} = 4,98 \text{ V} \dots \dots \dots (4.13)$$

$$\Delta V_{ADC} = V_{ref} \times 2^{-n}$$

$$\Delta V_{ADC} = 5 \times 2^{-8}$$

$$\Delta V_{ADC} = 0,019532 \text{ V} \dots \dots \dots (4.14)$$

Dimana :  $V_{in}$  adalah tegangan masukan ADC 8 bit.

$V_{ref}$  adalah tegangan masukan maksimal pada ADC 8 bit.

$\Delta V_{ADC}$  adalah resolusi ADC.

n adalah bit ADC

Rangkaian penguat instrumentasi adalah rangkaian penguat differensial yang ditambahkan *buffer* untuk memperbesar impedansi penguat dimana hal ini adalah salah satu syarat sebuah penguat dapat dikatakan baik. Persamaan penguat instrumentasi ditunjukkan dalam Persamaan (4.15) (sumber: AD620,2002:3).

$$G = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1 \dots\dots\dots (4.15)$$

Dimana : G adalah Gain atau penguatan yang dibutuhkan agar tegangan yang masuk kedalam ADC sesuai dengan *range* tegangan *input* ADC.

$R_g$  adalah resistor yang dapat mengatur gain pada AD620 dari luar

Namun, karena  $R_g$  belum diketahui, penguatan (G) dapat diperoleh dengan perhitungan seperti dalam Persamaan (4.17) sehingga diperoleh penguatan dengan besar 43,9929 seperti dalam Persamaan (4.18).

$$V_o = G \times (V_a - V_b), (V_a - V_b = \Delta V) \dots\dots\dots (4.16)$$

$$V_o = G \times (\Delta V)$$

$$G = \frac{V_o}{\Delta V} \dots\dots\dots (4.17)$$

$$G = \frac{4,98}{0,1132} = 43,9929 \dots\dots\dots (4.18)$$

Dengan :  $V_o$  adalah tegangan keluaran setelah penguatan atau tegangan masukkan ADC 8 bit ( $V_{in}$ ).

G adalah besarnya penguatan.

Setelah penguatan diperoleh, nilai resistansi pada  $R_g$  didapatkan dengan memasukkan hasil penguatan kedalam Persamaan (4.15) sehingga diperoleh nilai  $R_g$  seperti dalam Persamaan (4.19)

$$R_g = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{43,9929 - 1} = 1149,0269\Omega \dots\dots\dots (4.19)$$

Dari perhitungan nilai  $R_g$  dalam Persamaan (4.19) didapatkan hasil  $R_g$  sebesar 1149,0269 $\Omega$ . Resolusi suhu dapat diperoleh dengan memasukkan Persamaan (4.4), nilai  $V_b$  dan Persamaan (4.1) kedalam Persamaan (4.10), sehingga didapatkan Persamaan (4.20) sebagai persamaan baru.

$$\Delta V + V_b = \frac{(suhu \times 0,385) + 100}{[(suhu \times 0,385) + 100 + 1000]} \times 5$$

$$\Delta V = \left[ \frac{(suhu \times 0,385) + 100}{[(suhu \times 0,385) + 100 + 1000]} \times 5 \right] - 0,4545 \dots\dots\dots (4.20)$$

Persamaan (4.22) yang telah didapatkan, dihubungkan kedalam Persamaan (4.16) sehingga didapatkan Persamaan (4.21).

$$V_o = \left( \frac{1,925 \times suhu + 500}{0,385 \text{ suhu} + 1100} - 0,4545 \right) \times G \dots\dots\dots (4.21)$$



Dengan :  $V_o$  adalah tegangan keluaran setelah penguatan atau tegangan masukan ADC 8 bit ( $V_{in}$ ).

$G$  adalah besarnya penguatan ( $G = 43,9929$ ).

Sehingga besar Persamaan tegangan masukan ADC terhadap suhu dan sebaliknya didapatkan dalam Persamaan (4.23) dan (4.24). Resolusi suhu akan didapatkan sebesar  $71,96389(\text{mV}/^\circ\text{C})$  dan  $0,25052414 (^\circ\text{C}/\text{mV})$ .

$$V_{in} = \left( \frac{1,925 \times \text{suhu} + 500}{0,385 \text{suhu} + 1100} - 0,4545 \right) \times G \dots\dots\dots (4.22)$$

$$\text{suhu} = \left[ \frac{1100V_{ADC} - 2,199645}{76,98834488 - 0,385V_{ADC}} \right] \dots\dots\dots (4.23)$$

$$V_{in} = \left( \frac{1,925 \times 1 + 500}{0,385 \times 1 + 1100} - 0,4545 \right) \times 43,9929 = 0,07196389 \text{ V} \dots\dots\dots (4.24)$$

$$\text{suhu} = \left[ \frac{1100 (0,019532) - 2,199645}{76,98834488 - 0,385 (0,019532)} \right] = 0,25052414 \dots\dots\dots (4.25)$$

Keluaran penguat instrumentasi kemudian dihubungkan pada rangkaian *low pass filter* untuk meredam noise. Rangkaian *low pass filter* dibuat dengan komponen pasif yaitu R dan C yang masing – masing bernilai 1000 ohm dan 220 nF agar dapat meredam frekuensi diatas 723,7985 Hz. Frekuensi *cut off* pada *low pass filter* dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.26.

$$f_c = \frac{1}{2 \pi RC} \dots\dots\dots (4.26)$$

$$f_c = \frac{1}{(2 \pi)(1k\Omega)(200nF)}$$

$$f_c = 723,7985 \text{ Hz} \dots\dots\dots (4.27)$$

Dengan :  $f_c$  adalah Frekuensi *cut-off* (Hz)

R adalah Resistansi ( $\Omega$ )

C adalah Kapasitansi (F)

#### 4.2.2 Perancangan Sensor pH

Komponen rangkaian sensor pH terdiri dari sensor pH *glass electrode*, rangkaian Pengondisi sinyal, dan ADC 8 bit.

##### 4.2.2.1 Sensor pH *glass electrode*

Pada modul pengukur pH ini, diperlukan sensor yang dapat mengukur perubahan pH hasil fermentasi susu dari pH 0 sampai pH 8 dengan toleransi  $\pm 0.1$

derajat perubahan pH. Sensor yang digunakan adalah sensor pH elektroda kaca. Elektroda pH ini memiliki range pengukuran pH dari 0-14.

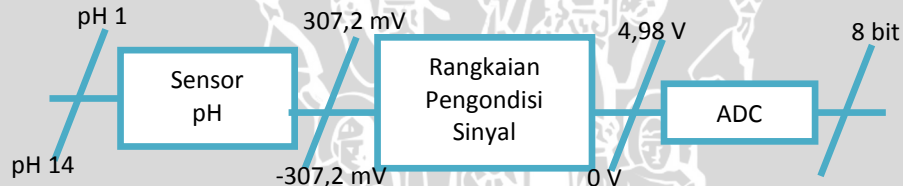
Secara teori elektroda pH ideal menghasilkan sekitar 59,16 mV per unit pH pada suhu 25°C dan pada pH 7 menghasilkan 0 V. Karakteristik sensor pH yang digunakan pada alat ini mempunyai tegangan keluaran sebesar 0,0028V (2,8mV) pada pH 7 dari larutan buffer pH 7 dan 0.054 V (54 mV) pada larutan buffer pH 6 pada suhu 27°C. Dengan rentang baca sensor tersebut adalah 3 unit pH, maka dapat dihitung keluaran tegangan tiap unit pH adalah 51,2mV/pH unit seperti dalam Persamaan 4.28.

$$54 - 2,8 = 51,2 \text{ mV/pH unit} \dots \dots \dots (4.28)$$

Dengan nilai ini kita bisa mendapatkan asumsi nilai maksimum pH 14 dan pH 1 yaitu -307,2 -307,2mV untuk pengukuran skala penuh pH atau total memiliki range 614,4mV.

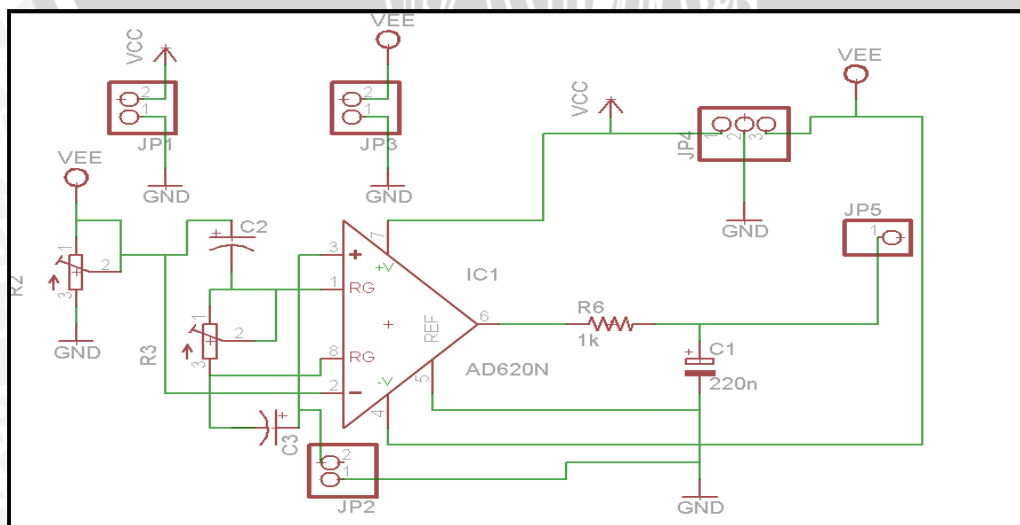
#### 4.2.2.2 Penguat Instrumentasi dan Low Pass Filter

Untuk mempermudah matematis perhitungan pengondisi sinyal, dibuatlah ilustrasi seperti Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Spesifikasi Input dan Output penguat instrumentasi *Glass Electrode*

Rangkaian keseluruhan pengondisi sinyal ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Skematik Rangkaian Sensor pH



Setelah mengetahui range keluaran sensor pH -307,2 - 307,2 mV, dibutuhkan suatu rangkaian kembali yang dapat mengubah level tegangan -307,2 - 307,2 mV menjadi 0 - 4,98 V. Hal ini disebabkan karena ADC bertegangan referensi ( $V_{ref} = 5 \text{ V}$ ) menerima range tegangan yaitu sebesar 0 - 4,98 V dan resolusi ADC sebesar (0,019532 V) seperti perhitungan dalam Persamaan (4.29) dan (4.30). Rangkaian tersebut adalah rangkaian penguat instrumentasi.

$$V_{in} = V_{ref}(a_1 2^{-1} + a_2 2^{-2} + a_3 2^{-3} + a_4 2^{-4} + a_5 2^{-5} + a_6 2^{-6} + a_7 2^{-7} + a_8 2^{-8})$$

$$V_{in} = 5 \text{ V} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right)$$

$$V_{in} = 4,98 \text{ V} \dots\dots\dots (4.29)$$

$$\Delta V_{ADC} = V_{ref} \times 2^{-n}$$

$$\Delta V_{ADC} = 5 \times 2^{-8}$$

$$\Delta V_{ADC} = 0,019532 \text{ V} \dots\dots\dots (4.30)$$

Dengan :  $V_{in}$  adalah tegangan masukan ADC 8 bit.

$V_{ref}$  adalah tegangan masukan maksimal pada ADC 8 bit.

$\Delta V_{ADC}$  adalah resolusi ADC.

$n$  adalah bit ADC.

Pengondisi sinyal analog terdiri dari penguat instrumentasi yang telah dikemas dalam sebuah IC yang bernama (AD 620). Dimana penguat instrumentasi ini terdiri dari penguat differensial yang ditambahkan dengan penguat penyangga. Penguat penyangga pada AD620 ini digunakan untuk memastikan agar sinyal tegangan yang berubah-ubah tidak terpengaruh oleh pembebanan dari penguat berikutnya, karena elektroda pH memiliki impedansi sangat tinggi sekitar 10M $\Omega$  sampai 100M $\Omega$ . Jika suatu penguat memiliki input bias sebesar 1 nA pun jika melalui impedansi 100M $\Omega$  akan menghasilkan sekitar 0,1 V. Hal ini dapat mempengaruhi pengukuran sensor sebesar hampir 2 unit pH. Persamaan penguat instrumentasi ditunjukkan dalam Persamaan (4.31) (sumber: AD620,2002:3).

$$G = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1 \dots\dots\dots (4.31)$$

Dimana :  $G$  adalah Gain atau penguatan yang dibutuhkan agar tegangan yang masuk kedalam ADC sesuai dengan *range* tegangan *input* ADC.

$R_g$  adalah resistor yang dapat mengatur gain pada AD620 dari luar



Namun, karena  $R_g$  belum diketahui, penguatan (G) dapat diperoleh dengan melihat hasil penguatan pada *datasheet*. Sehingga ditentukan penguatan sebesar 5 kali dan resistansi didapatkan sebesar 12,35 k $\Omega$  seperti dalam Persamaan 4.32.

$$R_g = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{5-1} = 12350\Omega \dots\dots\dots (4.32)$$

Keluaran sensor pH pada pH 10 mencapai sebesar -170 mV, agar Arduino Mega dapat membaca keluaran sensor maka ditetapkan *offset* sebesar -500mV. Sehingga dapat dinyatakan keluaran rangkaian pengondisi sinyal seperti pada Persamaan 4.4

$$V_{out} = m \times (V_{out \text{ pH}} - V_o) \dots\dots\dots (4.33)$$

Dengan :  $V_{out}$  adalah tegangan keluaran setelah penguatan atau tegangan masukkan ADC 8 bit ( $V_{in}$ ).

$V_o$  adalah tegangan offset, karena dalam pengukuran pH 10 tegangan mencapai -170mV, maka tegangan offset dibuat -450mV.

$m$  adalah besarnya penguatan.

Untuk melewati offset 500mV, dibutuhkan rangkaian *low pass filter* dengan besar resistansi 10k $\Omega$  dan kapasitansi 22pF.

Filter akan dikondisikan untuk meredam noise dan melewati arus DC murni  $f=0$ Hz. Maka diestimasikan ripple minimum yang terjadi pada sensor sebesar 1,5Hz. Sehingga pertama-tama dipilih nilai  $C=100\mu\text{F}$  sehingga didapatkan nilai  $R=1\text{k}\Omega$ . Frekuensi *cut off* pada *low pass filter* dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.36.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \dots\dots\dots (4.36)$$

$$f_c = \frac{1}{(2\pi)(1\text{k}\Omega)(100\mu\text{F})} \dots\dots\dots (4.37)$$

$$f_c = 1,592 \text{ Hz}$$

Dengan :  $f_c$  adalah Frekuensi *cut-off* (Hz)

R adalah Resistansi ( $\Omega$ )

C adalah Kapasitansi (F)

#### 4.2.3 Rangkaian Interface ADC dan PLC

Rangkaian interface ADC dan PLC diperlukan karena PLC Siemens S7-200 CPU 226 tidak memiliki *port* input analog. Pengolah ADC menggunakan Modul

ADC Arduino Mega dengan masukan berupa data analog dari rangkaian pengondisi sinyal PT100 maupun *glass electrode* dengan rentang antara 0-4,98 V. Keluaran ADC Arduino Mega berupa data biner 8 bit dari nilai suhu yang terbaca oleh ADC. Masing-masing keluaran digital ADC memiliki rentang tegangan 0 atau 5V sehingga diperlukan suatu rangkaian yang dapat menaikkan tegangan menjadi 24V sebelum masuk pada PLC.

Rangkaian *driver* optik menggunakan *optocoupler* 4N35 digunakan untuk menaikkan tegangan tersebut sekaligus sebagai isolator listrik antara rangkaian ADC dengan PLC. Rangkaian tersebut berguna sebagai isolator listrik karena *ground* antara kedua sisi rangkaian terpisah.

Nilai Resistor 1,3,5,7,9,11,13 dan 15 didapatkan menggunakan Persamaan 4.38. Sehingga didapatkan nilai resistor sebesar 83,3Ω. Karena resistor sebesar 83,3Ω tidak ada dalam pasaran, jadi besar resistor yang digunakan adalah 100Ω.

$$V = R \times I_d \dots\dots\dots (4.38)$$

$$5 = R \times 0,06$$

$$R = \frac{5}{0,06}$$

$$R = 83,3 \Omega$$

Dengan : Input-diode forward current Continuous ( $I_d$ ) adalah 60 mA

Tegangan masukan (V) adalah 5V

R adalah Resistor

Nilai Resistor 2,4,6,8,10,12,14 dan 16 didapatkan menggunakan Persamaan 4.39. Sehingga didapatkan nilai resistor sebesar 48kΩ. Karena resistor sebesar 48kΩ tidak ada dalam pasaran, jadi besar resistor yang digunakan adalah 51kΩ.

$$V_{CC} = V_C + V_{CE} + V_E$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E$$

$$V_{CC} - V_{CE} = I_C R_C + I_E R_E, I_E = I_C$$

$$V_{CC} - V_{CE} = I_C (R_C + R_E)$$

Ketika  $I_C=0$ , maka :  $24 - V_{CE} = 0(R_C + R_E)$

$$V_{CE} = 24$$

Ketika  $V_{CE}=0$  dan  $I_C(\text{sat})=0,5\text{mA}$ , maka :  $24 - 0 = 0,0005(R_C + R_E)$

$$24 = 0,0005(0 + R_E)$$

$$24 = 0,0005R_E$$

$$R_E = 48k\Omega$$

Dengan:  $V_{cc}$ (Tegangan Sumber) adalah 5 Volt

$V_{CE}$ (Tegangan *Collector Emitter*)

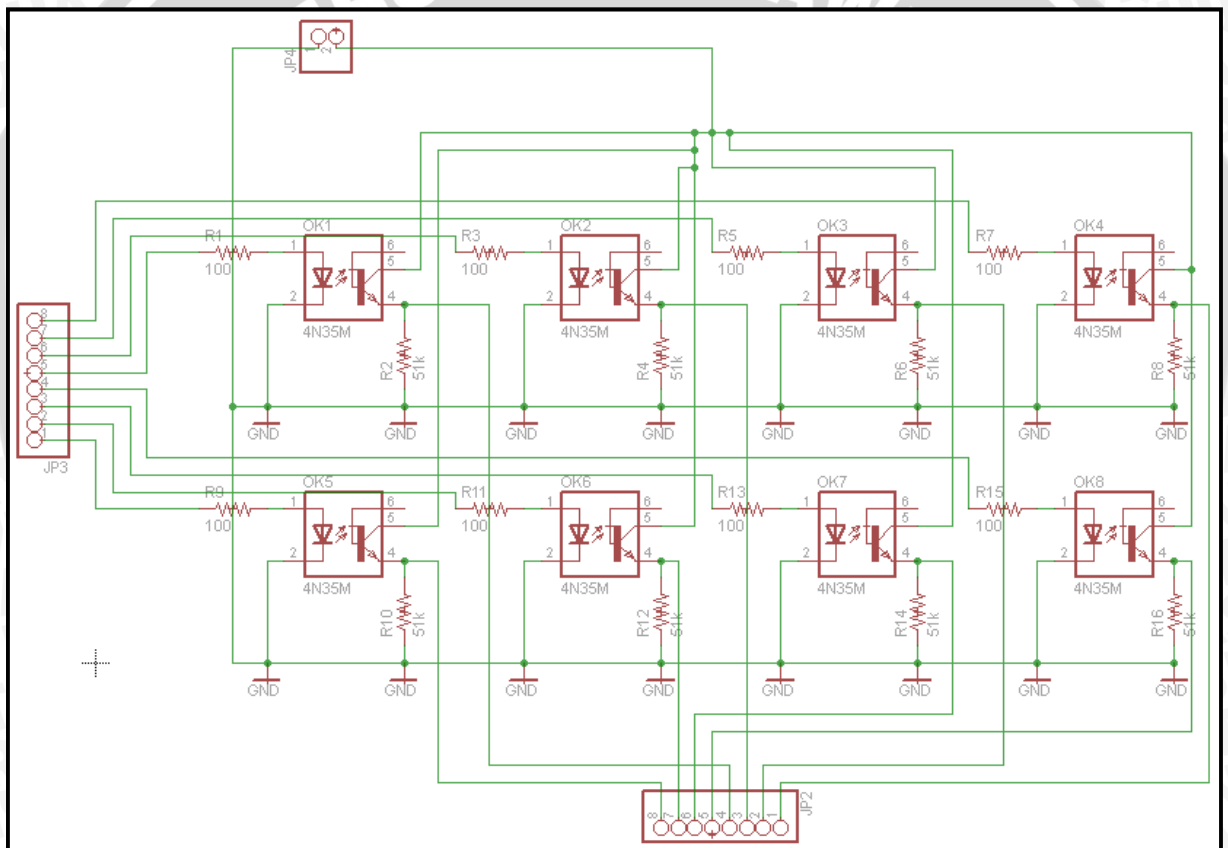
$V_E$ (Tegangan *Emitter*)

$V_C$ (Tegangan *Collector*)

$I_E$ (Arus *Emitter*)

$I_C$ (Arus *Collector*)

Gambar 4.8 merupakan gambar rangkaian interface ADC dan PLC yang terdiri atas 8 *optocoupler* dengan input dari Arduino.



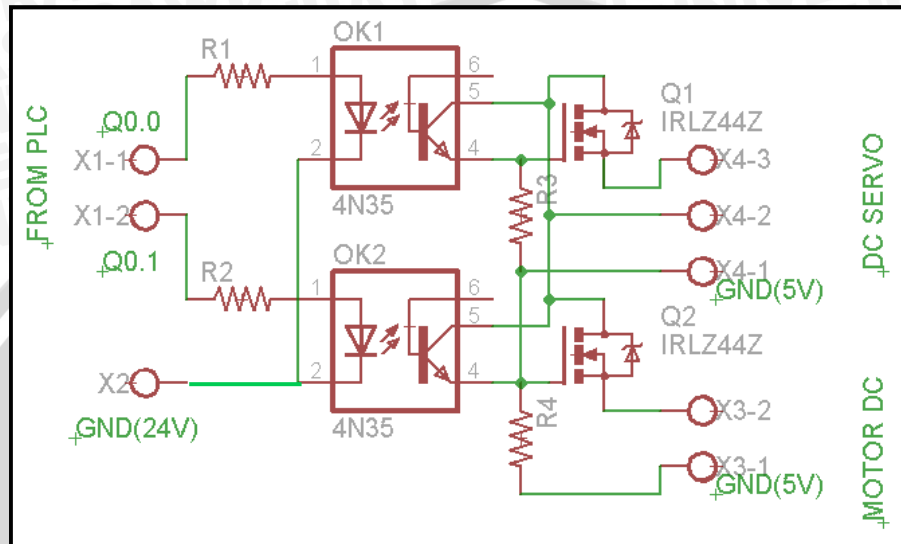
Gambar 4.8 Rangkaian Interface ADC dan PLC

#### 4.2.4 Driver Motor Servo dan Motor DC

*Driver* motor digunakan sebagai pengendali putaran motor servo dan motor DC. *Driver* motor yang digunakan adalah E-MOSFET N-channel jenis IRLZ144N. Pada dasarnya, motor servo dan motor DC mendapat sinyal PWM dari PLC berupa tegangan maksimal 24 V. Tetapi, kedua motor tersebut hanya dapat bekerja pada



tegangan maksimal 6 V. Sehingga diperlukan komponen yang dapat menurunkan tegangan 24 V menjadi 5 V sebelum masuk E-MOSFET. Selain itu komponen tersebut juga harus dapat memisahkan rangkaian *driver* motor dan PLC secara elektronis. Untuk itu digunakan rangkaian pengendali optik yaitu *optocoupler* 4N35. Gambar 4.9 adalah rangkaian *driver* motor servo dan motor DC



Gambar 4.9 Rangkaian *Driver* Motor Servo dan Motor DC

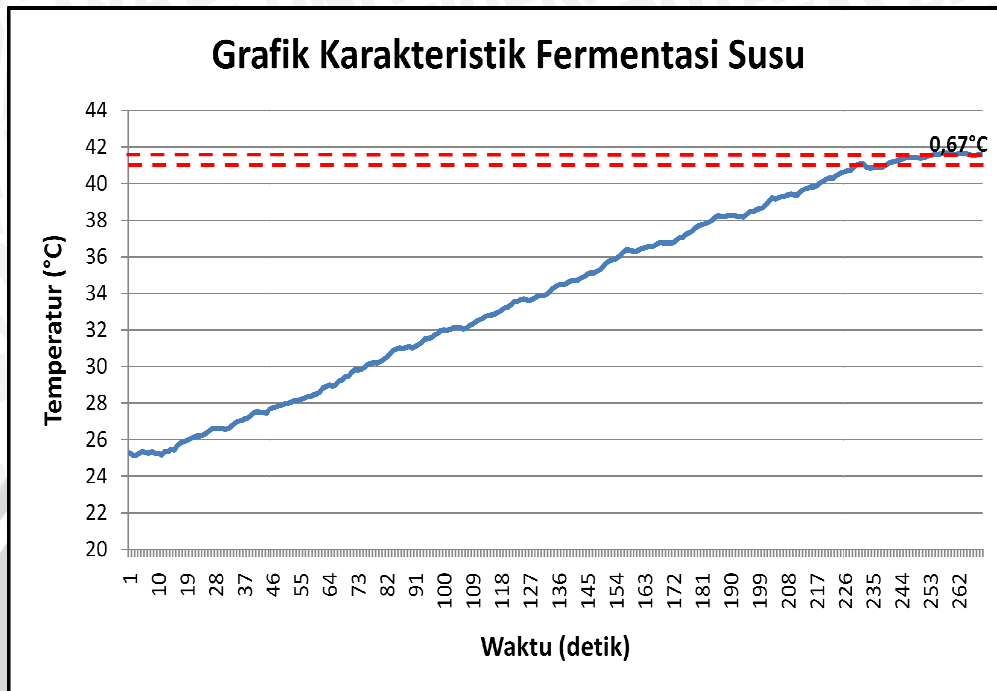
#### 4.2.5 Karakteristik Alat Fermentasi Susu

Alat fermentasi susu menggunakan pengendali suhu terdiri atas kompor listrik dan tabung fermentasi. Kompor listrik yang digunakan memiliki daya maksimal 700 Watt dan menggunakan elemen pemanas berupa energi elektromagnetik sebagai penghantar panasnya. Gambar 4.10 merupakan grafik karakteristik alat fermentasi susu.

Grafik karakteristik didapat dengan menggunakan daya kompor listrik (500 Watt), menggunakan pengaduk untuk mencampur kemudian mematakannya ketika suhu susu mencapai *setpoint* (41° C). Berdasarkan Gambar 4.10, grafik karakteristik, ketika kompor listrik diputus dengan catu daya pada suhu 41° C, suhu pada tabung fermentasi tetap naik hingga mencapai 41,67° C. Sehingga dapat diketahui bahwa beda suhu (*lagging temperature*) mencapai 0,67° C.

Waktu yang diperlukan alat untuk mencapai suhu 45° C adalah 231 detik atau 3,85 menit. Sedangkan waktu yang diperlukan alat tersebut untuk mencapai suhu *steady* (41,6° C) adalah 258 detik atau 4,5 menit. Dengan demikian waktu yang

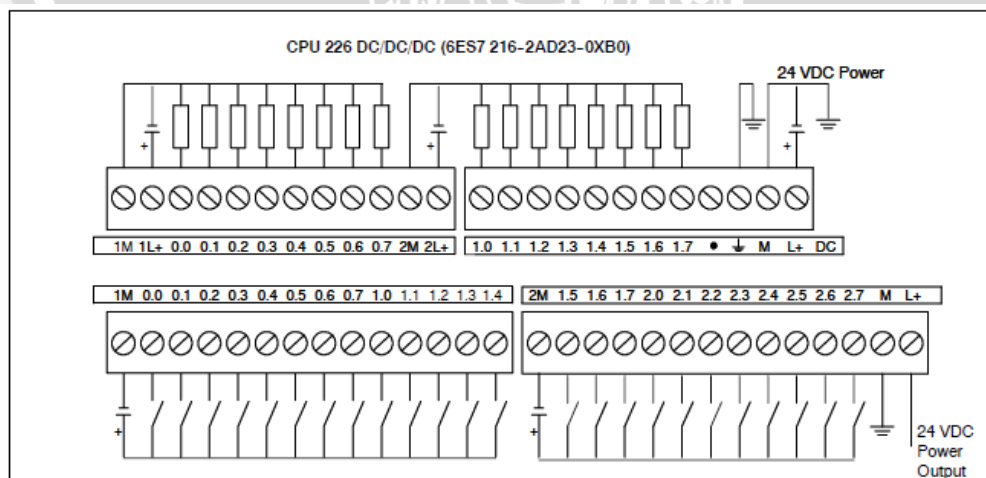
diperlukan sistem untuk mencapai *steady* dari kedudukan *setpointnya* adalah 27 detik atau 0,45 menit. Waktu tersebut merupakan *lagging time* dari alat fermentasi susu.



Gambar 4.10 Grafik Karakteristik Alat Fermentasi Susu

#### 4.2.6 Konfigurasi I/O PLC Siemens S7-200 CPU 226

PLC Siemens S7-200 CPU 226 memiliki 40 input dan output, tidak memiliki input analog, tetapi memiliki 2 port output yang dapat difungsikan untuk mengeluarkan sinyal PWM. Diagram pengkabelan PLC Siemens S7-200 CPU 226 ditunjukkan dalam Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Diagram Pengkabelan S7-200 CPU226 (system manual S7-200)

Dari 24 port input dan 16 port output yang terdapat pada PLC tipe CPU 226 tidak semua digunakan pada alat fermentasi susu. Konfigurasi I/O PLC yang digunakan pada alat fermentasi susu ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Konfigurasi I/O PLC Siemens S7-200 CPU 226

Alamat Port	Nama	Fungsi
I0.0	Bit ke 1	Input dari Rangkaian ADC (Sensor Suhu)
I0.1	Bit ke 2	
I0.2	Bit ke 3	
I0.3	Bit ke 4	
I0.4	Bit ke 5	
I0.5	Bit ke 6	
I0.6	Bit ke 7	
I0.7	Bit ke 8	
I2.0	Bit ke 1	Input dari Rangkaian ADC (Snsor pH)
I2.1	Bit ke 2	
I2.2	Bit ke 3	
I2.3	Bit ke 4	
I2.4	Bit ke 5	
I2.5	Bit ke 6	
I2.6	Bit ke 7	
I2.7	Bit ke 8	
I1.0	Saklar on/off	Input dari saklar on/off sistem
Q0.0	PWM motor servo	Output PWM bagi motor servo
Q0.1	PWM motor DC	Output PWM bagi motor DC pengaduk

#### 4.2.7 Perancangan Kontroler

Perancangan kontroler diperlukan untuk mengetahui parameter kontroler yang tepat untuk sistem pengendalian suhu pada alat fermentasi susu. Berdasarkan grafik karakteristik alat fermentasi susu pada Gambar 4.10, kontroler yang sesuai untuk plant dengan karakteristik tersebut adalah kontroler proporsional integral. Kontroler proporsional integral dipilih karena karakteristik plant tersebut memiliki



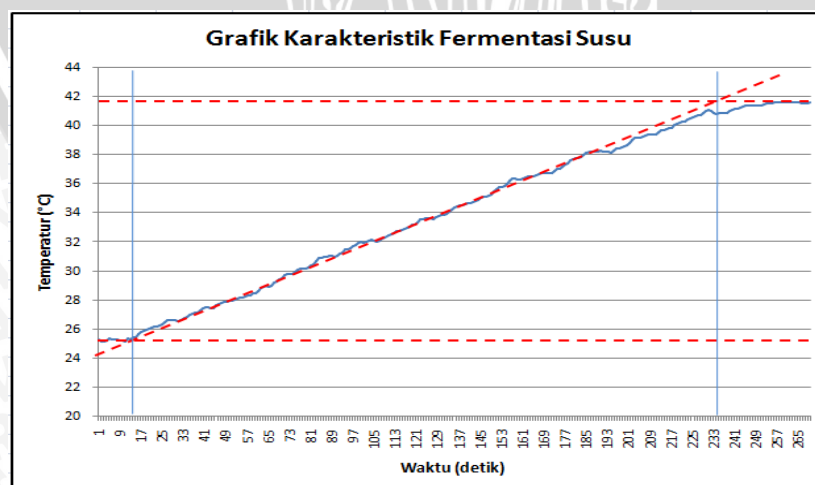
kenaikan dan penurunan suhu yang lambat, tidak ada gangguan dari luar, serta tidak memerlukan respon kontroler yang cepat.

Grafik karakteristik plant pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa bentuk kurva karakteristik plant menyerupai huruf S (*S-Shaped curve*). Sehingga dapat digunakan tuning Kp menggunakan metode Ziegler-Nichols 1. Langkah awal tuning parameter dengan metode Ziegler-Nichols 1 adalah menarik garis tangen pada titik infleksi grafik karakteristik plant. Kemudian mencari perpotongan garis tangen dengan garis nilai akhir, sehingga diperoleh nilai T dan L. Nilai T dan L tersebut digunakan untuk menentukan besarnya Kp yang tepat, sesuai dengan tabel 4.2 Aturan Tuning Ziegler-Nichols Metode 1.

Tabel 4.2 Aturan Tuning Ziegler-Nichols Metode 1  
(Sumber : Ogata K.)

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

Gambar 4.12 menunjukkan penentuan Kp dan Ti dengan menggunakan Metode Ziegler-Nichols 1. Berdasarkan Gambar 4.12 didapatkan nilai L=15 detik=0,25 menit dan T=22 detik=3,683 menit. Sehingga besarnya Kp adalah  $13,26 \approx 13,3$  dan Ti adalah 0,833menit, dihitung berdasarkan Tabel 4.2 dalam Persamaan 4.38 dan 4.39.

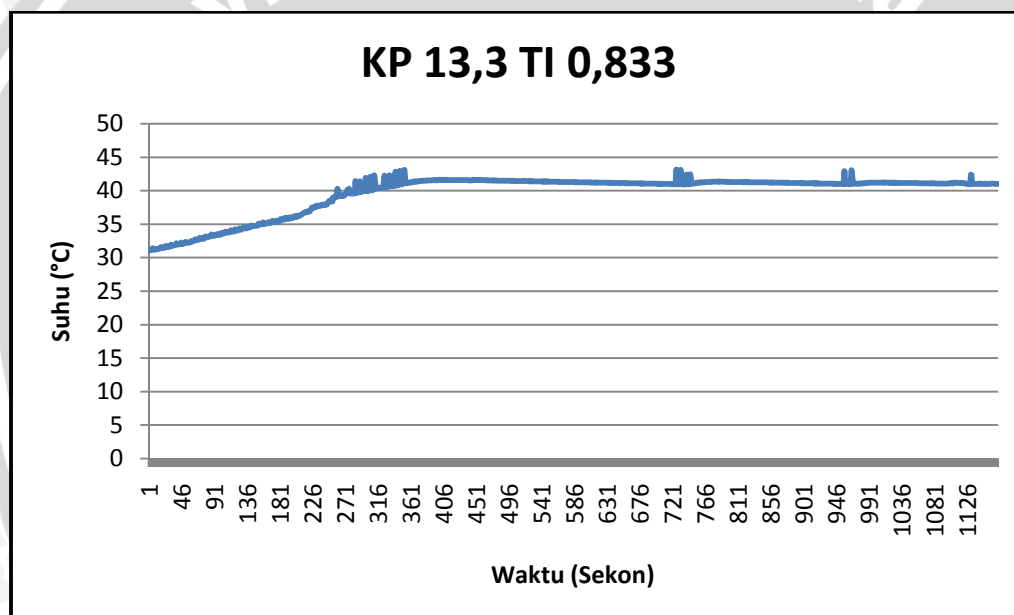


Gambar 4.12 Tuning dengan Metode Ziegler-Nichols 1

$$K_P = \frac{T}{L} = \frac{221}{15} = 13,26 \approx 13,3 \dots\dots\dots (4.38)$$

$$T_i = \frac{L}{0,3} = \frac{0,25}{0,3} = 0,833 \approx 0,83 \dots\dots\dots (4.39)$$

Hasil tuning dengan metode Ziegler-Nichols 1 yaitu  $K_p=13,3$  dan  $T_i=0,833$  diujicobakan sebagai parameter kontroler proporsional integral untuk sistem pengendalian suhu pada alat fermentasi susu. Berdasarkan hasil pengujian dengan  $K_p=13,3$ ,  $T_i=0,833$  dan setpoint  $41^\circ\text{C}$ , didapatkan grafik respon sistem pada Gambar 4.13. Grafik respon dengan  $K_p=13,3$  dan  $T_i=0,83$  menunjukkan bahwa suhu steady sistem adalah  $41,36^\circ\text{C}$ . Masih terdapat error sebesar  $0,36^\circ\text{C}$  atau  $0,87\%$ . Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa kontroler PI dengan KP dan TI sesuai untuk sistem tersebut.



Gambar 4.13 Grafik Respon Sistem Dengan KP 13,3 dan TI 0,833

### 4.3 Perancangan Perangkat Lunak

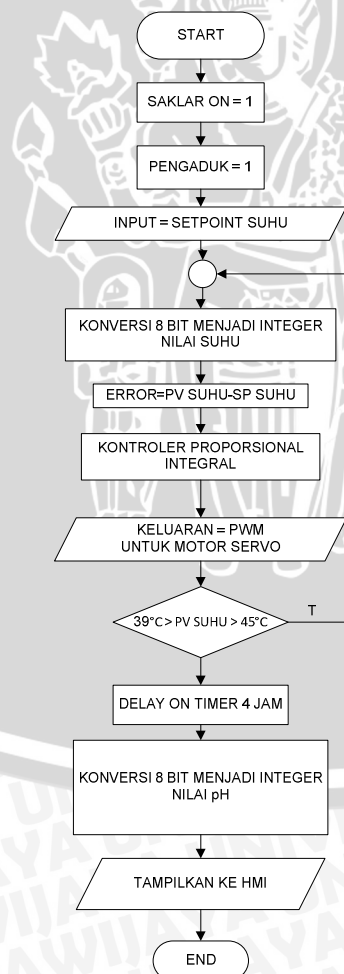
Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan membuat diagram alir program terlebih dahulu sebelum kemudian menuliskan dengan menggunakan bahasa C dalam program kompiler ERW 1.0.5. Untuk menyederhanakan pola berpikir maka perancangan perangkat lunak dibagi menjadi 3 yaitu algoritma program utama dan algoritma dari masing-masing sensor yang digunakan, suhu dan sensor elektroda pH.

### 4.3.1 Program Utama

Tujuan dari program utama adalah mengatur urutan kerja sistem sehingga sistem mampu menjalankan fungsinya dengan baik. Secara umum tugas yang harus dikerjakan oleh program utama meliputi sistem pembacaan sensor kemudian menampilkan data ke HMI, memberikan PWM dan menjalankan kontrol PI . Algoritma program utama ditunjukkan dalam Gambar 4.14

Saat sistem *ON*, yang pertama kali dilakukan yaitu memberikan pulsa PWM untuk mengatur putaran pengaduk dan membaca data sensor. Data sensor di cacah oleh ADC pada Arduino Mega dan di proses oleh PLC untuk dijadikan masukan pada kontroler. Keluaran dari kontroler dijadikan sebagai masukan PWM. Data sensor dan PWM ditampilkan dalam HMI.

Perancangan perangkat lunak berkaitan dengan flowchart ladder diagram pada software Step 7 Micro/Win. Gambar 4.14 adalah flowchart sistem keseluruhan.

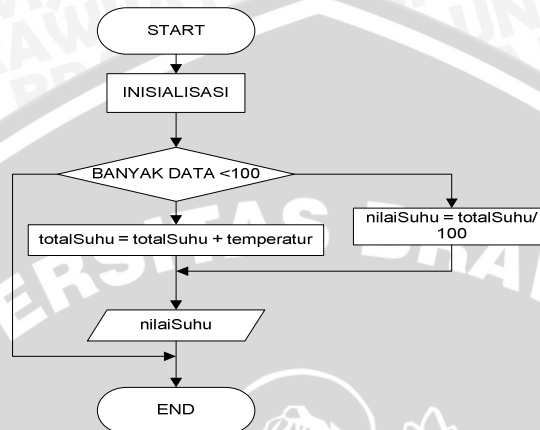


Gambar 4.14 Flowchart Program Utama



### 4.3.2 Program Sensor Suhu

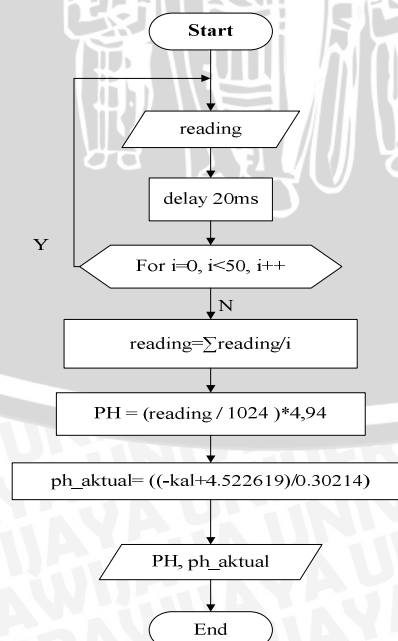
Sensor suhu harus melalui ADC Arduino Mega terlebih dahulu sebelum dapat diakses oleh PLC. Sensor mengukur suhu sampai kondisi yang diinginkan, Arduino menerima data pembacaan sensor dan diteruskan ke PLC. Algoritma akses sensor pH ditunjukkan dalam Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Flowchart Sensor Suhu

### 4.3.3 Program Sensor pH

Sensor pH harus melalui ADC Arduino Mega terlebih dahulu sebelum dapat diakses oleh PLC. Sensor mengukur pH sampai kondisi yang diinginkan, Arduino menerima data pembacaan sensor dan diteruskan ke PLC. Algoritma akses sensor pH ditunjukkan dalam Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Flowchart Sensor Ph

## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

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

#### 5.1 Pengujian Sensor Suhu PT100

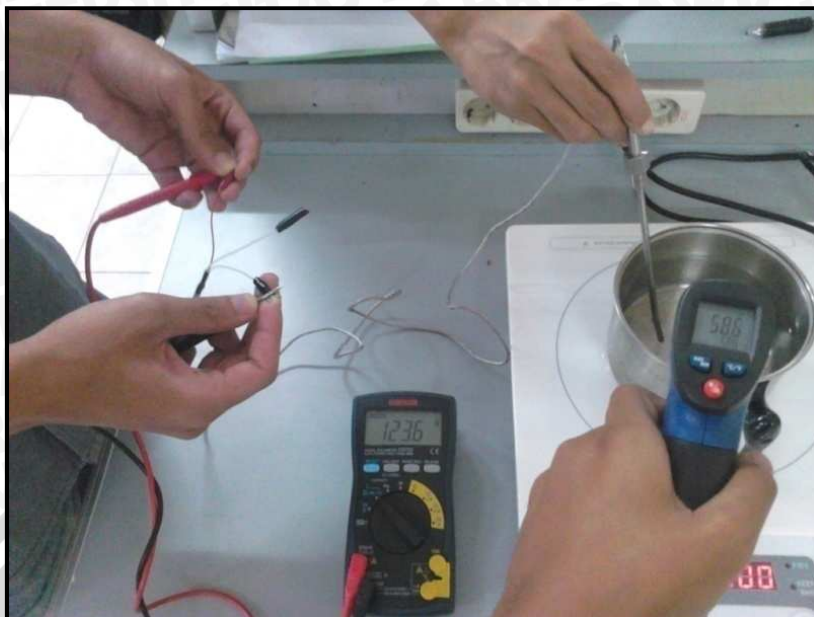
Pengujian Sensor Suhu bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis kemampuan pembacaan sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat perubahan resistansi sensor PT100.

##### 5.1.1 Peralatan Pengujian

- Sensor Suhu PT100
- Bejana dengan air yang dipanaskan
- Termometer Raksa Acuan
- Catu daya +5 Volt
- Multimeter

##### 5.1.2 Prosedur pengujian

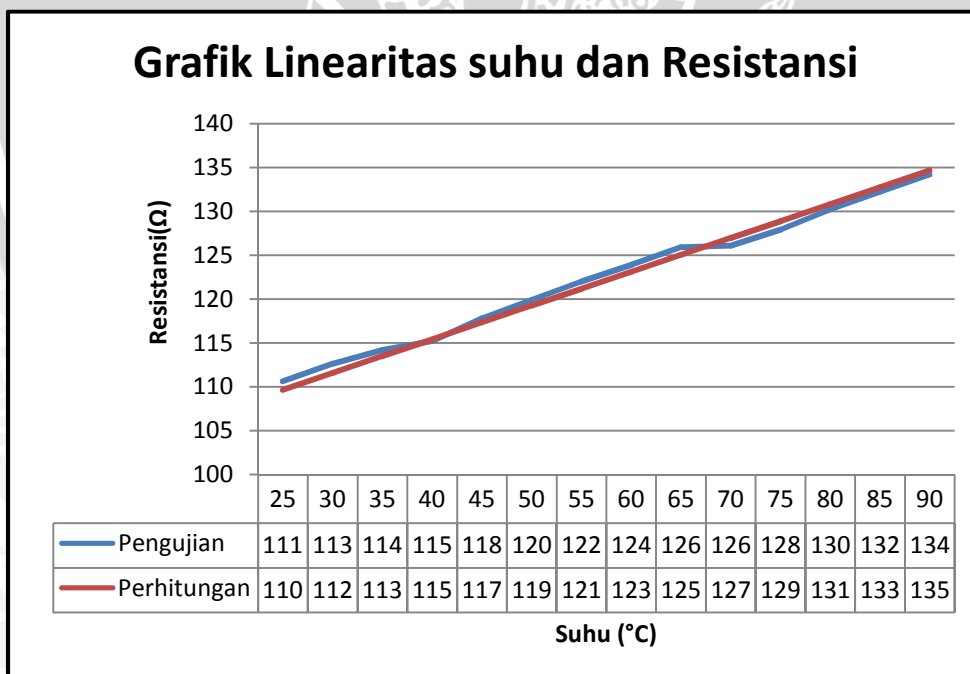
- Menyusun rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.1.
- Hidupkan catu daya
- Atur skala multimeter
- Tuang air panas ke dalam bejana
- Amati dan tulis perubahan tegangan setiap perubahan suhu yang terjadi dalam bejana dengan mengamati termometer acuan



Gambar 5.1 Pengujian Sensor Suhu PT100

### 5.1.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian sensor PT100 ditunjukkan dalam Tabel 5.2, sehingga didapatkan grafik linearitas antara suhu dengan resistansi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Linearitas Suhu dan Resistansi



Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor Suhu

Suhu (°C)	Pengujian (Ω)	Perhitungan (Ω)	(Penyimpangan) (%)
25	110.6	109.625	0.89
30	112.6	111.55	0.94
35	114.2	113.475	0.64
40	115.2	115.4	0.17
45	117.8	117.325	0.40
50	119.9	119.25	0.55
55	122	121.175	0.68
60	123.9	123.1	0.65
65	125.9	125.025	0.70
70	126.1	126.95	0.75
75	127.9	128.875	1.03
80	130.2	130.8	0.46
85	132.2	132.725	0.40
90	134.2	134.65	0.33
Rata-Rata (%)			0.61

Dari tabel 5.1 terlihat setiap perubahan suhu yang terukur oleh Sensor Suhu PT100 tidak berbeda jauh dengan tegangan perhitungan.

Tegangan perhitungan didapatkan dengan mengambil karakteristik PT100 yang telah dijelaskan dalam data sheet bahwa  $R = 100 + (0,385 \times ^\circ C)$  setiap derajatnya akan berubah sesuai dengan rumus karakteristiknya. Maka terlihat dari tabel bahwa tegangan perhitungan tidak berbeda terlalu jauh dari tegangan yang terukur.

Gambar 5.1 menunjukkan bahwa nilai dari perhitungan dan pengukuran terhadap perubahan suhu mendekati linier dan penyimpangan atau persen *error* yang didapatkan adalah 0,61% .

## 5.2 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Analog PT 100

Pengujian rangkaian pengondisi sinyal analog PT 100 bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis kemampuan rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 terhadap perubahan suhu melalui *Serial Monitor* Arduino ERW 1.0.5.

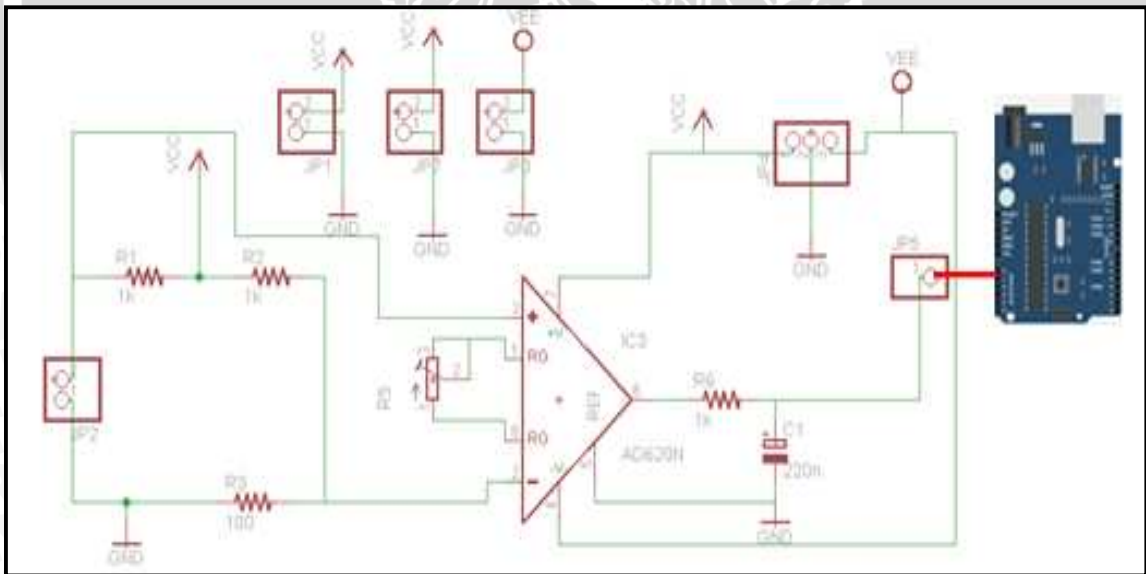
### 5.2.1 Peralatan Pengujian

- Sensor Suhu PT100
- Rangkaian Instrumentasi (AD620)
- Arduino Mega

- Bejana dengan air yang dipanaskan
- Termometer Raksa Acuan
- Catu daya +5 Volt
- Catu daya +12 Volt,-12 Volt.
- Komputer
- Multimeter

### 5.2.2 Prosedur Pengujian

- Menyusun rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.3.
- Hidupkan catu daya
- Atur skala multimeter
- Tuangkan air ke dalam bejana
- Amati dan tulis perubahan tegangan setiap perubahan suhu yang terjadi dalam bejana dengan mengamati termometer acuan dan *Serial Monitor* Arduino ERW 1.0.5.



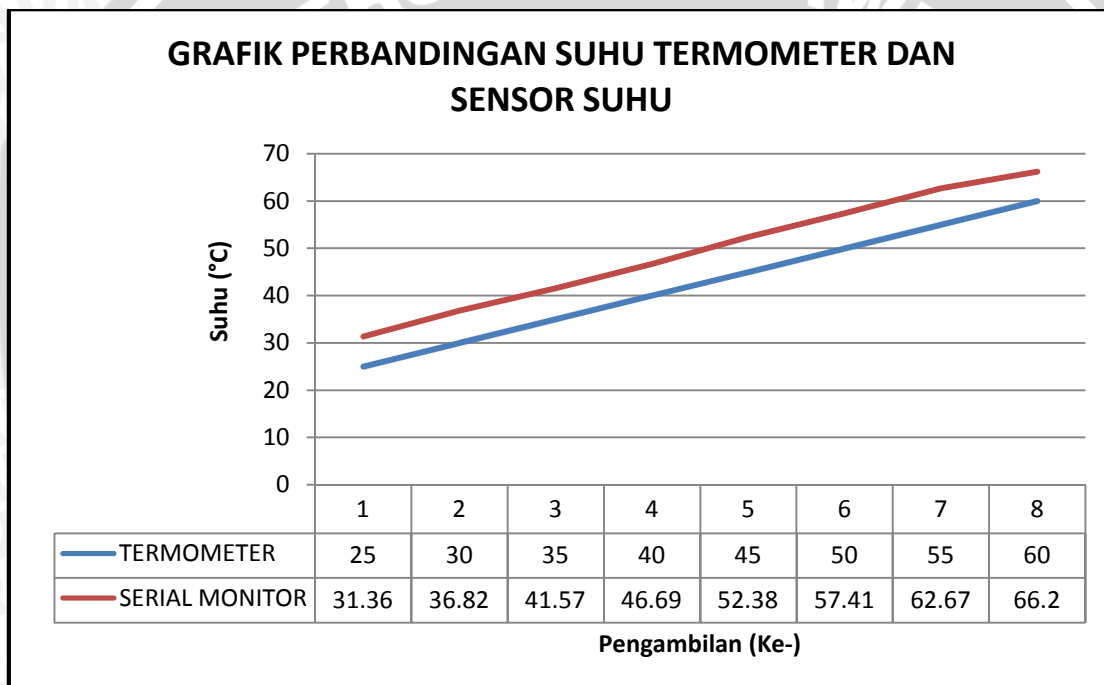
Gambar 5.3 Pengujian RPS Sensor Suhu

### 5.2.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 ditunjukkan dalam Tabel 5.1, sehingga didapatkan grafik linearitas antara suhu dengan resistansi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.4.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian RPS PT100

NO	Suhu Pembacaan Termometer (°C)	Suhu Pembacaan Serial Monitor (°C)	Error (%)
1	25	31,36	25,44
2	30	36,82	22,73
3	35	41,57	18,77
4	40	46,69	16,72
5	45	52,38	16,40
6	50	57,41	14,82
7	55	62,67	13,94
8	60	66,2	10,33
Rata-Rata (%)			17,39



Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Suhu Pembacaan Termometer dan Suhu Pembacaan Serial Monitor

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.2, error antara suhu pembacaan termometer dengan suhu pembacaan serial monitor masih sangat besar. Grafik perbandingan suhu hasil pembacaan termometer acuan dengan serial monitor dapat dilihat pada Gambar 5.4. Pada grafik tersebut terlihat bahwa selisih yang timbul antara kedua pembacaan suhu cenderung membentuk garis linear. Sehingga untuk mengkompensasi error pembacaan suhu, dapat dikalibrasi menggunakan metode regresi linear pada Persamaan (5.1).

Kalibrasi dengan metode regresi linear :



$$\sum x_i a_0 + \sum x_i^2 a_1 = \sum x_i y_i \dots \dots \dots (5.1)$$

$$f = a_0 + a_1 x$$

$$f = -6,07298 + 0,983508x$$

Kompensasi error pembacaan suhu dilakukan pada program di dalam Arduino Mega seperti pada Listing Program dalam Gambar 5.5. Sehingga menghasilkan data pengujian pada Tabel 5.3.

```
int pos = 0;
const byte numPins = 8;
byte pins[] = {9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2};
int banyakData,temp;
float totalSuhu,nilaiSuhu;
boolean setFlag_suhu =false;
char data;
int j;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  data = 0;
  temp = 0;
  j=0;}
void loop() {int sensorValue = analogRead(A2);
  float voltage = sensorValue * (4.94 / 1024.0);
  float constanta = ((0.449090 + (voltage / 46.5562)) / 4.94);
  float resistance = ((1000 * constanta) / (1-constanta));
  float temperature1 = ((resistance - 100)/0.385);
  float temperature = -6.07298 + 0.983508 * temperature1;
  if (banyakData < 100){totalSuhu = totalSuhu + temperature;banyakData++;}
  else{nilaiSuhu = totalSuhu/100.0;
    temp = (int)nilaiSuhu;
    data = (char) temp;
    for (byte i=0; i<8; i++)
    {byte state = bitRead(data, i);
     digitalWrite(pins[i], state);}
    Serial.println(nilaiSuhu);
    banyakData=0;
    totalSuhu=0.0;}

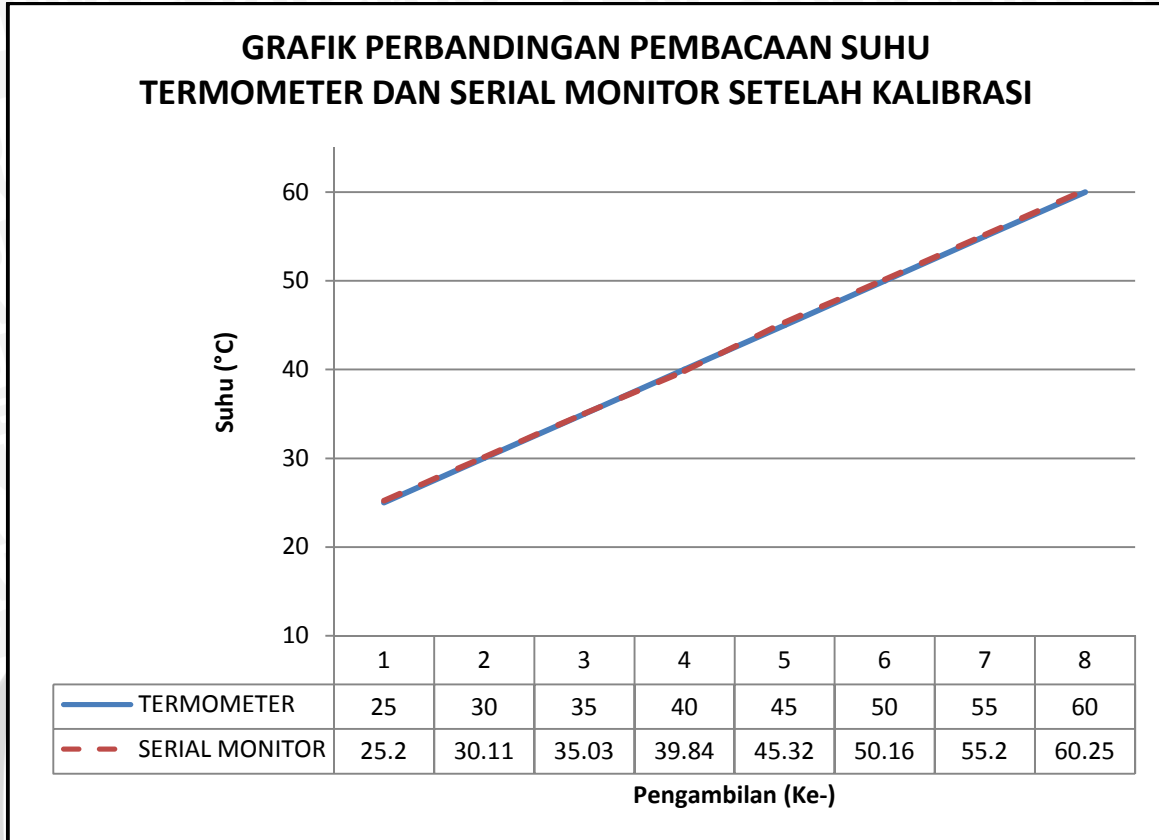
  delay (10);}
```

Gambar 5.5 Listing Program Pembacaan Suhu

Tabel 5.3 Hasil Pengujian RPS PT100 Setelah Kalibrasi

NO	Suhu Pembacaan Termometer (°C)	Suhu Pembacaan Serial Monitor (°C)	Error (%)
1	25	25,2	0,800
2	30	30,11	0,367
3	35	35,03	0,086
4	40	39,84	0,400
5	45	45,32	0,711
6	50	50,16	0,320
7	55	55,2	0,364
8	60	60,25	0,417
Rata-Rata (%)			0,433

### GRAFIK PERBANDINGAN PEMBACAAN SUHU TERMOMETER DAN SERIAL MONITOR SETELAH KALIBRASI



Gambar 5.6 Grafik Perbandingan pembacaan suhu Termometer dan pembacaan Serial Monitor Setelah Kalibrasi

Berdasarkan pada Tabel 5.3, hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal PT100 menghasilkan suhu pembacaan serial monitor yang mendekati suhu acuan dan dalam Gambar 5.6 terlihat bahwa hasil pembacaan termometer dan serial monitor berhimpitan. Sehingga kalibrasi yang dilakukan telah sesuai dan rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 dapat bekerja dengan baik dengan penyimpangan 0,433%.

### 5.3 Pengujian Sensor pH

Pengujian sensor pH bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis karakteristik sensor pH serta tegangan yang dihasilkan oleh elektroda dengan nilai pH pada beberapa larutan buffer pH.

### 5.3.1 Peralatan Pengujian

- Elektroda pH
- Multimeter Digital
- Botol *Reagent*
- Buffer pH 4, 7 dan 10

### 5.3.2 Prosedur Pengujian

- Menyusun rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.7.
- Mengisi botol *reagent* dengan buffer pH
- Memasukkan elektroda pH pada botol *reagent*



Gambar 5.7 Pengujian sensor pH pada larutan buffer

### 5.3.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian sensor pH ditunjukkan dalam Tabel 5.5, sehingga didapatkan grafik linearitas antara pH dengan tegangan seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.8.

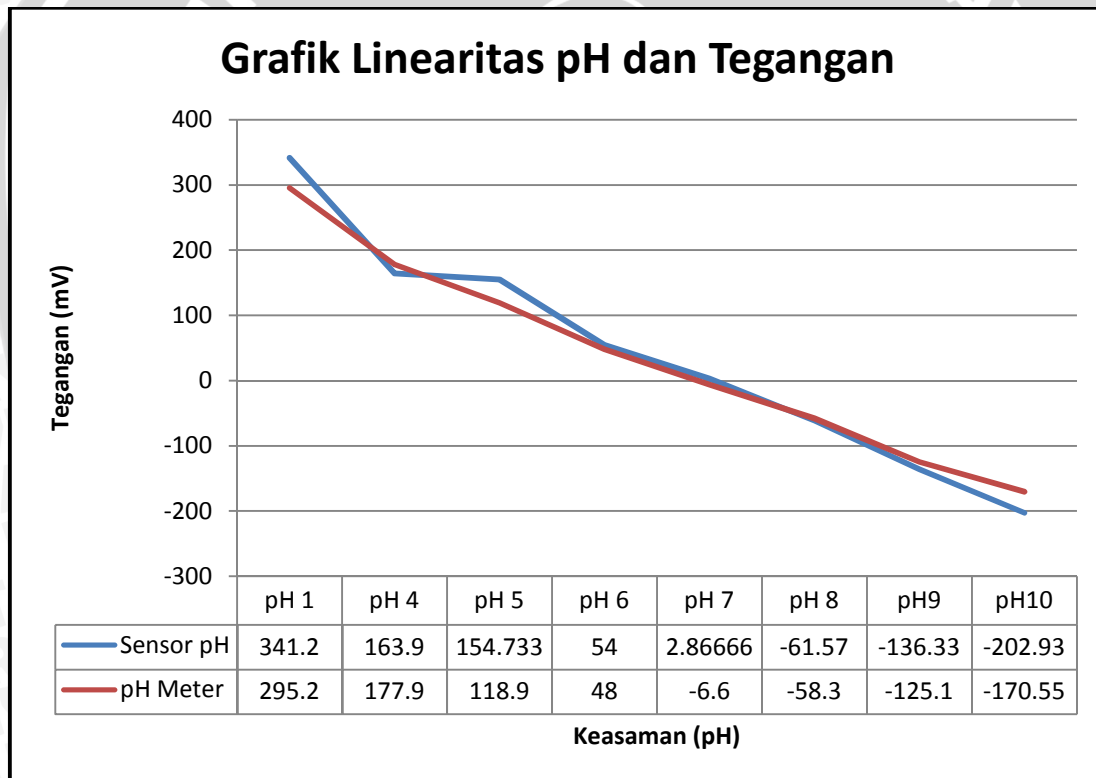
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Sensor pH

Buffer Pengambilan	pH 1	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	pH9	pH10
I	345,9	163,6	154,2	55	3,1	-61,30	-136,9	-203,1
II	336,9	163,7	154,6	53,8	4,2	-61,8	-135,7	-203,4
III	340,8	164,4	155,4	53,2	1,3	-61,6	-136,4	-202,3
Rata" (pH)	<b>341,2</b>	<b>163,9</b>	<b>154,7333</b>	<b>54</b>	<b>2,866667</b>	<b>-61,57</b>	<b>-136,333</b>	<b>-202,933</b>



Tabel 5.5 Hasil Pengujian Sensor pH dan pH Meter

Buffer pH	Sensor pH (mV)	pH Meter (mV)
pH 1	341,2	295,2
pH 4	163,9	177,9
pH 5	154,7222	118,6
pH 6	54	48
pH 7	2,866667	-6,6
pH 8	-61,57	-58,3
pH 9	-136,333	-125,1
pH 10	-202,933	-170,55



Gambar 5.8 Grafik Linieritas pH dan Tegangan

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada sensor pH dapat dilihat bahwa hasil pembacaan sensor pH yang digunakan mampu mendeteksi perubahan pH. Dapat dilihat juga dari hasil pengujian, jika pH asam akan menghasilkan tegangan sensor positif, sedangkan pH basa akan menghasilkan keluaran tegangan negatif. Dengan menggunakan hasil pH 6 didapat tegangan sebesar  $\approx 54$  mV. pH 6 dan 7 memiliki

selisih 1 unit pH, maka keluaran tegangan tiap derajat pH adalah sebesar  $\approx 51,2$  mV/pH. Gambar 5.8 menunjukkan bahwa keluaran tegangan sensor pH berbanding terbalik dengan kenaikan pH. Penyimpangan pembacaan sensor dapat terjadi jika larutan buffer yang digunakan untuk pengujian menjadi tidak stabil akibat penyimpanan yang kurang tepat, usia dari elektroda pH yang digunakan serta suhu pengukuran tidak tepat sama dengan  $25^{\circ}\text{C}$ .

#### 5.4 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Analog Sensor pH

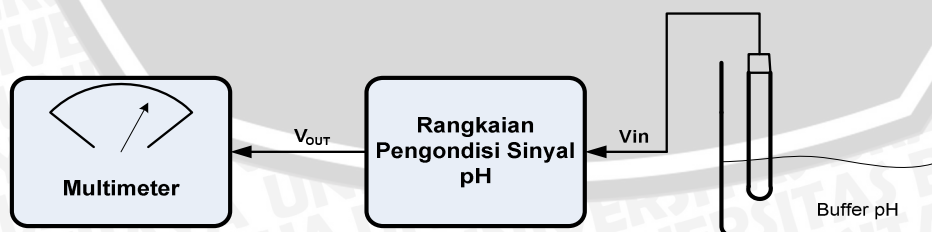
Pengujian rangkaian pengondisi sinyal analog dan ADC pada Sensor pH bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis hasil tegangan output dari pengukuran derajat keasaman yang telah dikuatkan 5 kali sehingga pengukuran derajat keasaman memiliki range dari 0V hingga 5V, dan mengetahui hasil keluaran dari ADC 8bit yang akan mengubah tegangan analog menjadi bit-bit digital.

##### 5.4.1 Peralatan Pengujian

- Sensor pH *Glass Electrode*
- Rangkaian Instrumentasi (AD620)
- pH Buffer
- Catu daya +12 Volt
- Multimeter

##### 5.4.2 Prosedur Pengujian

- Menyusun rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.9.
- Mengisi botol *reagent* dengan buffer pH
- Memasukkan elektroda pH pada botol *reagent*
- Amati dan tulis perubahan tegangan setiap perubahan buffer pH



Gambar 5.9 Pengujian RPS Sensor pH

### 5.4.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian sensor pH ditunjukkan dalam Tabel 5.6. Pengondisi sinyal untuk sensor pH terdiri atas rangkaian penguat instrumentasi dan penggeser tegangan. Perhitungan keluaran rangkaian pada data pertama berdasarkan persamaan 4.3 adalah sebagai berikut :

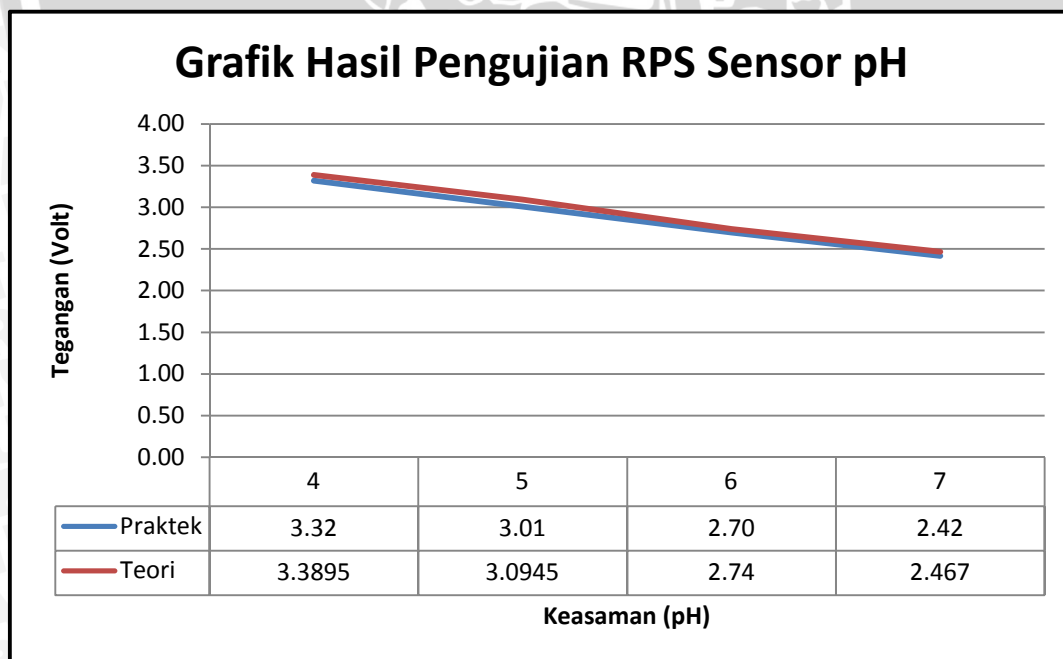
$$V_{out} = m \times (V_{out\ pH} - V_o), m=5 \text{ kali}; V_o=-500\text{mV}$$

$$\begin{aligned} V_{out} &= 5(177,9^{-3}+500 \times 10^{-3}) \\ &= 5(677,9 \times 10^{-3}) \\ &= 3,3895V \end{aligned}$$

Untuk data selanjutnya perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus yang sama dan  $V_{in}$  yang disesuaikan dengan kenaikan per derajat pH.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian RPS Sensor pH

pH	Vin (mV) Teori	Vout Teori (Volt)	Vout Paktek (Volt)	Error (%)
4	177,9	3,389	3,32	2,0644
5	118,9	3,0945	3,01	2,7306
6	48	2,74	2,70	1,5641
7	-6,6	2,467	2,492	2,0402
Error Rata-Rata (%)				2,09988



Gambar 5.10 Grafik Hasil Pengujian RPS Sensor pH



Besarnya kesalahan dari hasil pengujian pada Tabel 5.6 dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Prosentase penyimpangan pengujian rangkaian pengondisi sinyal elektroda pH adalah:

$$\%Kesalahan = \left| \frac{V_{out}Perhitungan - V_{out}Pengukuran}{V_{out}Perhitungan} \right| \times 100\%$$

Misalnya pada pH 4 diperoleh penyimpangan

$$\%Kesalahan = \left| \frac{3,389 - 3,32}{3,389} \right| \times 100\%$$

$$\%Kesalahan = 2,0644 \%$$

2. Kesalahan rata-rata hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal elektroda pH adalah :

$$\%Kesalahan \text{ rata - rata} = \frac{\sum \% Kesalahan}{n} \times 100\%$$

n=banyaknya pengujian yang dilakukan

$$\begin{aligned} \%Kesalahan \text{ rata - rata} &= \frac{8,39952}{4} \times 100\% \\ &= 2,0998 \% \end{aligned}$$

Tabel 5.6 menunjukkan bahwa data yang didapatkan telah mendekati perencanaan sebelumnya dan dapat disimpulkan bahwa pengondisi sinyal telah bekerja dengan baik dengan *error* 2,0998%. Adanya kesalahan hasil pengukuran rangkaian pengondisi sinyal disebabkan oleh tingkat akurasi dari komponen-komponen yang digunakan berbeda-beda. Gambar 5.10 menunjukkan hasil Rancangan Pengondisi Sinyal pada sensor pH.

## 5.5 Pengujian Motor DC Servo

Pengujian Motor DC Servo memiliki tujuan untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh perubahan pulsa PWM terhadap sudut putaran dan duty cycle pada motor DC servo.

### 5.5.1 Peralatan Pengujian

- Motor DC Servo Micro GWS 2BBMG
- PLC Siemens S7200 CPU226
- Driver motor servo
- Busur 360°
- Komputer

- *Digital Oscilloscope* Vellemen PCSU1

### 5.5.2 Prosedur Pengujian

- Menghubungkan input driver motor DC servo dengan output PLC port Q0.0
- Menghubungkan output driver motor DC servo dengan pin motor DC servo
- Menghubungkan output PWM driver motor dengan *Digital Oscilloscope* Vellemen PCSU1000
- Menghubungkan rangkaian dengan catu daya
- Memberikan nilai pulsa PWM yang berbeda-beda pada ladder diagram function block PWM
- Mengamati dan mengukur besar sudut putaran motor DC servo dengan menggunakan busur
- Mengamati dan mencatat *duty cycle* PWM pada tampilan *waveform parameter software* PC-Lab

### 5.5.3 Hasil Pengujian dan Analisis

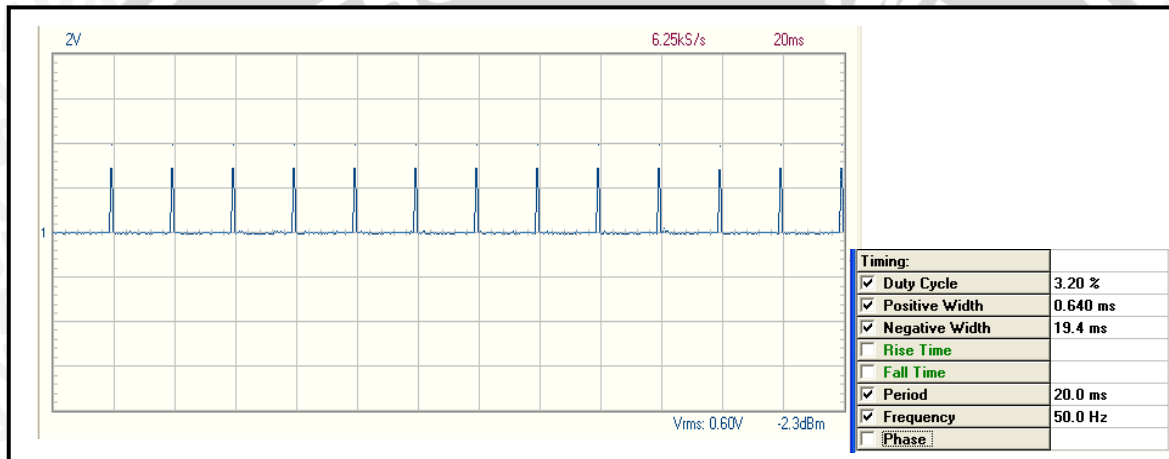
Hasil pengujian motor DC servo ditunjukkan dalam Tabel 5.6 dan Gambar 5.5 – 5.9. Gambar 5.5 – 5.9 merupakan hasil pengujian menggunakan *software* PC-Lab dengan *mode* tampilan *waveform parameter*. Pada Tabel 5.4 terdapat data *duty cycle* perhitungan yang diperoleh dari Persamaan (5.1).

$$\text{Duty cycle (\%)} = \frac{\text{pulse } (\mu\text{s})}{20.000\mu\text{s}} \times 100\% \dots \dots \dots (5.1)$$

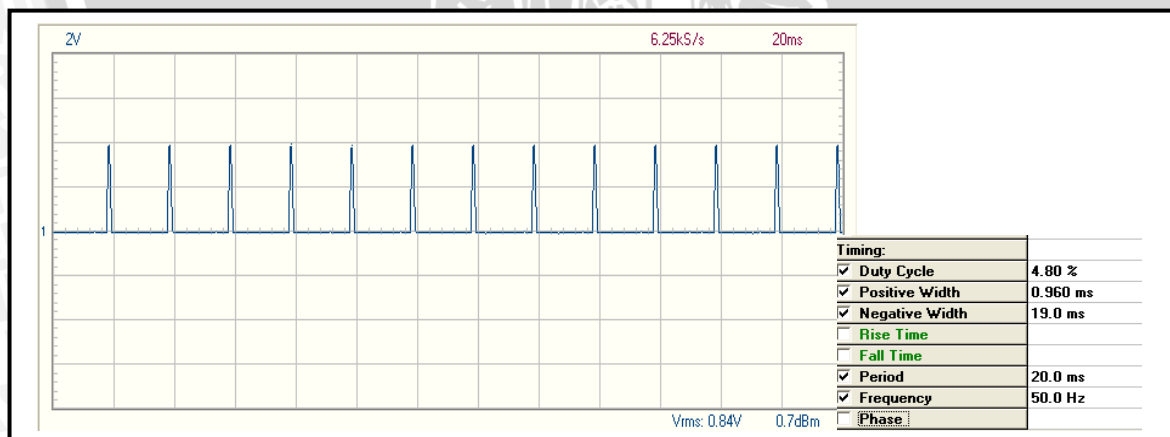
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Motor DC Servo

Pulse ( $\mu\text{s}$ )	Sudut DC Servo ( $^{\circ}$ )	Duty cycle pengujian (%)	Duty cycle perhitungan (%)
500	0	3.2	2.5
600	10	3.2	3
700	25	4	3.5
800	35	4	4
900	47.5	4.8	4.5
1000	57.5	4.8	5
1100	70	5.6	5.5
1200	82.5	6.4	6
1300	90	6.4	6.5

1400	102.5	7.2	7
1500	110	8	7.5
1600	120	8.8	8
1700	132.5	8.8	8.5
1800	145	9.6	9
1900	157.5	9.6	9.5
2000	167.5	10.4	10
2100	180	11.2	10.5
2200	190	11.2	11
2300	197.5	12	11.5
2400	210	12	12
2500	215	12.8	12.5

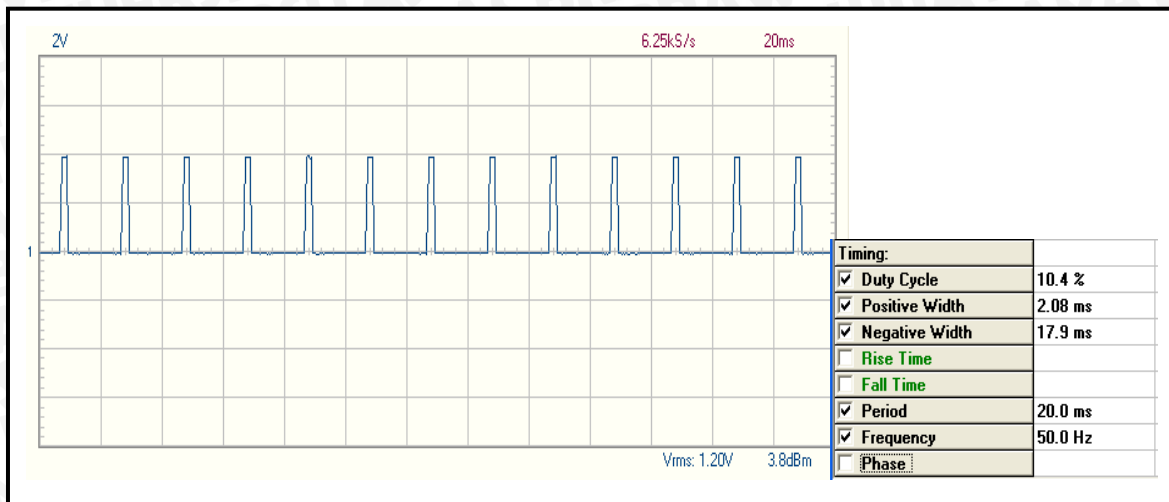


Gambar 5.11 Sinyal Input PWM dengan Pulse 500 µs

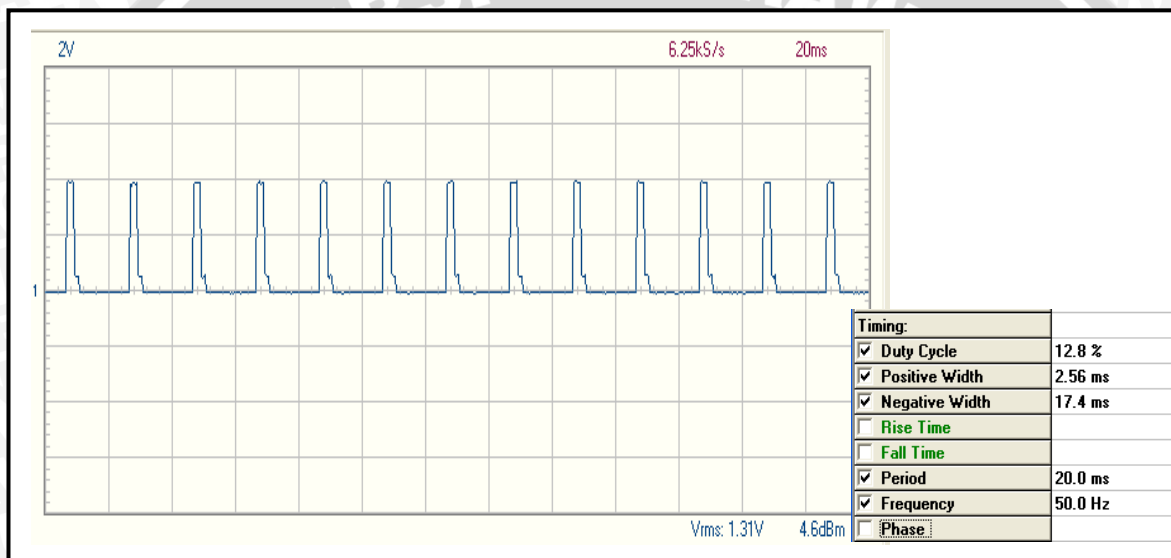


Gambar 5.12 Sinyal Input PWM dengan Pulse 1000 µs





Gambar 5.13 Sinyal Input PWM dengan Pulse 2000 μs



Gambar 5.14 Sinyal Input PWM dengan Pulse 2500 μs

## 5.6 Pengujian HMI

Pengujian HMI ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis kemampuan HMI Simatic HMI Panel TP177 Micro untuk menampilkan grafik pembacaan suhu dan PWM.

### 5.6.1 Peralatan Pengujian

- HMI Simatic HMI Panel TP177 Micro
- PLC Siemens S7-200 CPU 226
- PT100
- Rangkaian pengondisi sinyal PT100
- Rangkaian ADC

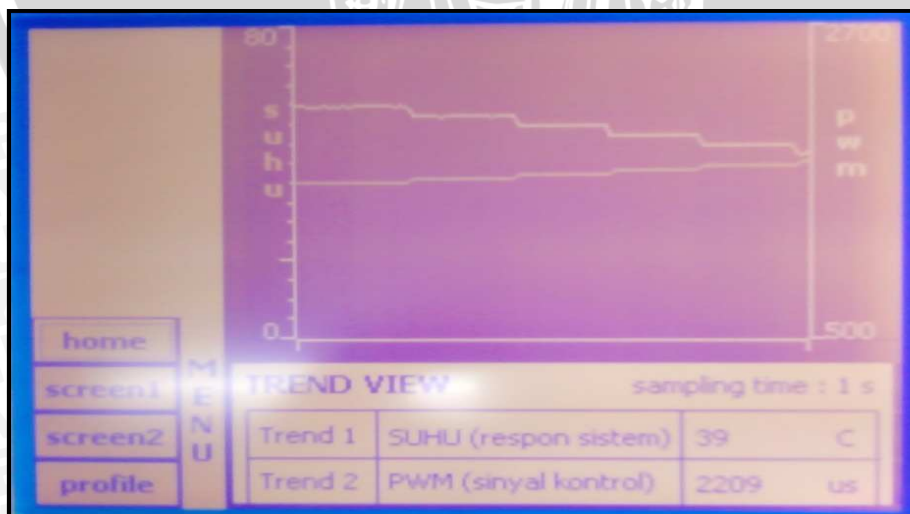
- Komputer/Laptop

### 5.6.2 Prosedur Pengujian

- Menghubungkan semua PT100 dengan rangkaian pengondisi sinyal PT100
- Menghubungkan keluaran rangkaian pengondisi sinyal dengan input analog A0 pada Arduino Mega yang telah berisi program pembacaan suhu
- Menghubungkan keluaran 8 bit Arduino UNO dengan rangkaian driver optik
- Menghubungkan keluaran masing-masing optocoupler dengan port input PLC
- Menghubungkan rangkaian dengan catu daya
- Menghubungkan HMI dengan PLC dan HMI dengan komputer atau laptop
- Menjalankan program *trend view* suhu dan PWM pada HMI
- Mengamati tampilan HMI

### 5.6.3 Hasil Pengujian

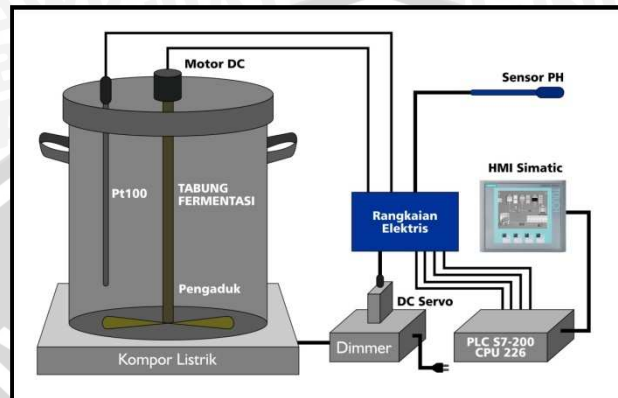
Hasil pengujian HMI dapat dilihat dalam Gambar 5.15. HMI dapat menampilkan *trend view* suhu dan PWM secara *realtime* dengan baik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa HMI layak untuk digunakan sebagai *interface* sistem pengendalian suhu pada alat fermentasi susu.



Gambar 5.15 Hasil Pengujian Tampilan HMI

### 5.7 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem Alat fermentasi setelah setiap bagian- bagian penyusun sistem dihubungkan menjadi suatu kesatuan yang utuh. Gambar sistem kerja alat pada pengujian sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Pengujian Keseluruhan

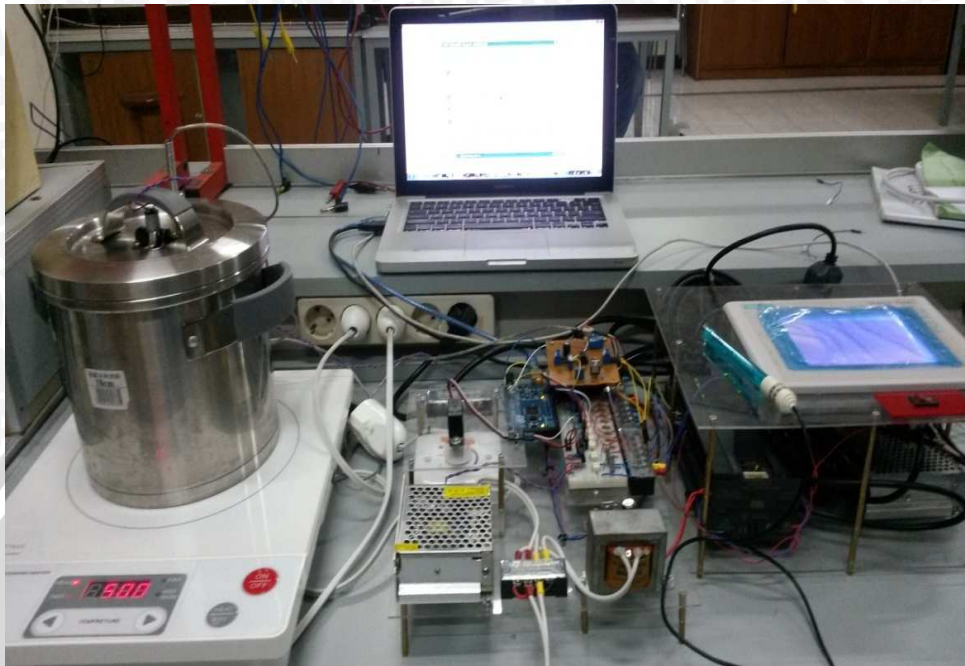
Pengujian keseluruhan sistem menggunakan susu yang telah dipasteurisasi sebagai obyek pengujian alat fermentasi susu. Susu yang dibutuhkan untuk pengujian adalah 1,5 Liter susu yang telah dipasteurisasi.

Prosedur yang dilakukan untuk pengujian keseluruhan ini adalah sebagai berikut :

- Menyusun bagian-bagian penyusun sistem sesuai dengan 5.16
- Menghidupkan Catu daya
- Menyiapkan Software Step 7 Micro/Win untuk PLC dan Software Arduino ERW 1.0.5 untuk ADC sistem.
- Memasukkan nilai parameter Kp, setpoint yang diinginkan kedalam ladder PLC dari hasil perhitungan.
- Memasukkan susu yang telah dipasteurisasi sebanyak 1,5 liter.
- Ketika suhu mencapai 39°C, masukan stater yoghurt yang sudah disiapkan sebanyak 3 sendok makan.
- Amati dan analisa hasil dari kinerja sistem, meliputi: kinerja PLC dalam membaca suhu, kinerja servo dalam menerima sinyal PWM dari PLC, kinerja pengaduk, kinerja *delay on timer* 4jam, kinerja HMI dalam menampilkan data secara *real time* dan kinerja PLC dalam membaca pH.

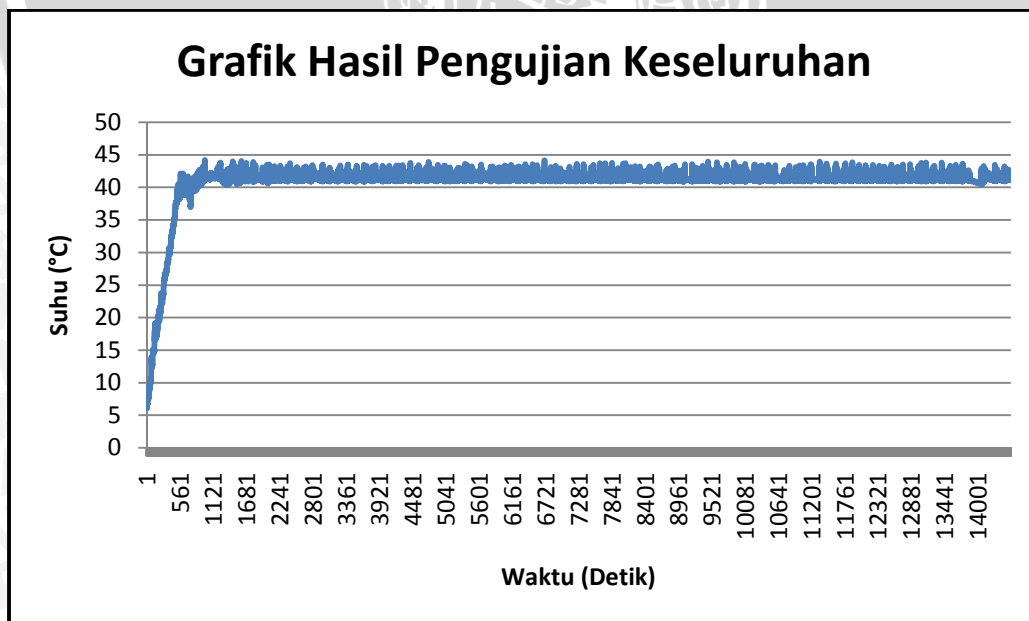


Gambar 5.17 menunjukkan gambar alat bekerja selama dalam proses fermentasi.



Gambar 5.17 Kerja Alat Selama Proses Fermentasi

Gambar 5.18 menunjukkan grafik respon sistem dengan pengaturan  $K_p=13,3$  dan  $T_I=0,8333$  menit dan setpoint  $41^\circ\text{C}$ . Pengujian tersebut dilakukan dalam ruangan yang bersuhu  $25^\circ\text{C}$ .



Gambar 5.18 Grafik Respon Sistem Keseleuruhan

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.18 grafik respon sistem keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. Suhu tertinggi dari hasil pengujian keseluruhan sistem adalah  $44,50^{\circ}\text{C}$ .
2. Fermentasi susu selama 4 jam berhasil dilakukan dengan rentang suhu pada fermentasi tersebut adalah  $39,14\text{-}41,4^{\circ}\text{C}$ .
3. Karena kompor listrik memiliki karakteristik bahwa setiap 1 menit sekali terdapat pemanasan tambahan, maka suhu fermentasi sempat meningkat sampai  $44,2^{\circ}\text{C}$ . Namun suhu tersebut masih dapat ditelorensai karena masih dalam suhu hidup bakteri.
4. Setelah 4jam waktu fermentasi, pengaduk, serta *block* kontroler proporsional tidak aktif. Namun *converter biner to int* masih aktif untuk menampilkan hasil derajat keasaman.
5. Proses pasteurisasi secara keseluruhan membutuhkan waktu 14557 detik atau 4,0436 jam.

Berdasarkan analisis kinerja pengujian sistem secara keseluruhan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem pengendalian suhu pada alat fermentasi susu dapat berjalan dengan baik menggunakan parameter  $K_p=13,3$  dan  $T_I=0,833$ , *ladder diagram* yang terdapat pada PLC juga dapat bekerja dengan baik dan sesuai keinginan, serta HMI mampu menampilkan data suhu dan PWM secara *realtime*. Hasil keasaman yang diperoleh pada proses fermentasi adalah 4,45. Hasil yoghurt ditunjukkan dalam Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Yoghurt Hasil Fermentasi



## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, sensor suhu PT100 dan pH *Glass Electrode* menghasilkan keluaran dengan rata-rata penyimpangan 0,433% dan 2,0998% menunjukkan kerja sensor yang baik. Parameter yang dibutuhkan untuk mengendalikan suhu dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols dalam menentukan parameter Kp dan Ti, didapatkan Kp yang sesuai untuk sistem yaitu Kp=13,3 dengan TI=0,833 menit. Setelah diimplementasikan, sistem fermentasi susu dapat mencapai *setpoint* 41° C. *Ladder diagram* pada PLC dapat bekerja dengan baik karena dapat menjaga suhu antara 39-41,42° C selama 4jam sesuai dengan standar fermentasi susu. HMI pada penelitian ini mampu menampilkan *trend view* suhu dan PWM secara *realtime*. Hasil kadar keasaman yang didapatkan adalah pH 4,45.

### 6.2 Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk perbaikan skripsi ini antara lain:

- Kecepatan dan panjang pengaduk pada proses fermentasi sebaiknya lebih diperhatikan, agar keasaman yang dihasilkan diatas dasar dan permukaan tabung sama.
- Penempatan sensor PT100 juga harus diperhatikan dan hendaknya lebih mendekati bagian dasar tabung fermentasi agar tidak timbul kerak pada dasar tabung karena perbedaan pembacaan suhu di permukaan dan dasar tabung.



## DAFTAR PUSTAKA

- A.Y, Tamime, 1999. *Yoghurt Science dan Technology*, page 9, CRC Press.
- Adam, M.R. and MO. Moss. 2000. *Food Microbiology*. 2<sup>th</sup> Edition. UK :MPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall.
- Brian, J. B. W. 1985. *Microbiology of Fermented Food* Elsevier Applied Science Publisher. New York.
- Dewipadma, J .K . 1978. *Pekerjaan Laboratorium. Mikrobiologi Pangan*. Departemen Teknologi Hasil Pertanian. Fakultas Mekanisasi dan Teknologi Hasil Pertanian. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Frazier, W.C. dan D. Westhoff. 1978. *Food Alicrobiology*. Third Edition. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Helferich, W and D . Westhoff. 1980. *All absut yoghurt* prentice-Hall, Mc, EngelWood-Cliffs. New Yersey.
- Heson, A dan M Trout. 1964. *Judging dairy produscts*. Fourth Edition . Theolsen pyblising company. Milmanke.
- Kusuma, Arya. 2013. *Pengertian PLC dan Jenis-jenis PLC*. (Online: <http://kusuma-w-arya.blogspot.com/2013/05/pengertian-plc-dan-jenis-jenis-plc.html>, diakses tanggal 28 November 2013).
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Parallax. 2010. *Parallax Standard Servo*. California: Parallax.
- Tarigan, Jeneng. 1988. *Pengantar Mikrobiologi*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jendral Perguruan Tinggi. Jakarta.
- Telkom Indonesia. *Sigmatic Induction Cooker SPC1EC-Putih*. (Online: <http://blanja.com/sigmatic-induction-cooker-spc1ec-putih>, diakses tanggal 22 April 2014).
- Winamo, F.G . 1980. *Gula susu dan laktose intolerance*. Di dalam Kompas 27 Juli .
- Wood, Brian J.B. 1998. *Microbiology Of Fermented Foof*. Second edition, vol 1. London : Blackie Academic & Profesional.

# LAMPIRAN

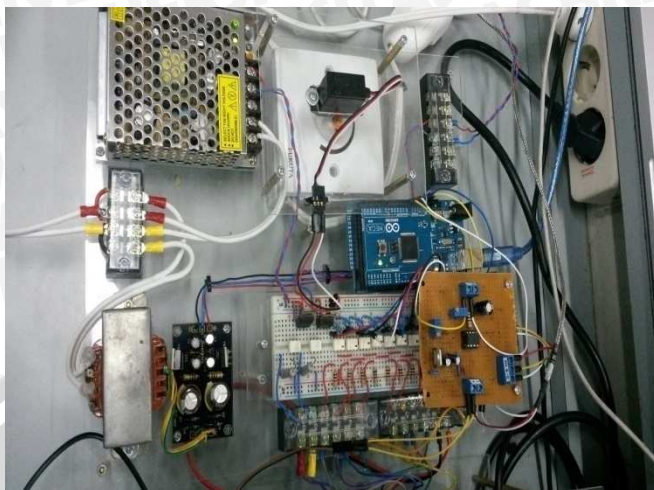


# LAMPIRAN I

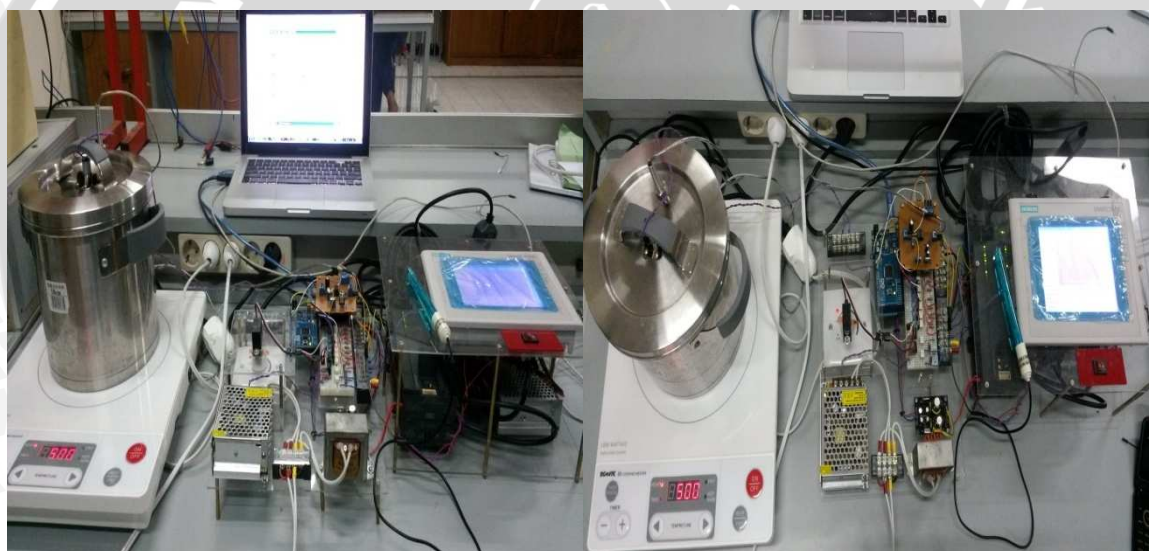
## FOTO ALAT







Gambar 1. Elektrik Sistem Fermentasi Susu



(a)

(b)

Gambar 2. Sistem Keseluruhan (a) Tampak depan (b) Tampak atas

# LAMPIRAN II

## LISTING PROGRAM





**A. Program pembacaan Suhu**

```
const byte numPins = 8; //konstanta byte numPins adalah 8
byte pins[8] = {10,9, 8, 7, 6, 5, 4, 3}; //deklarasi variabel pins
menggunakan array dengan indeks 8. Nilai array adalah
(10,9,8,7,6,5,4,3)
int banyakData,temp; //deklarasi variabel banyakData, temp
float totalSuhu,nilaiSuhu; //deklarasi variabel totalSuhu, nilaiSuhu
boolean setFlag_suhu =false; //deklarasi variabel setflag_suhu adalah
false
char data; //deklarasi variabel data
int j; //deklarasi variabel j

void setup() { //fungsi yang memiliki nilai kosong atau dengan default
void
pinMode (3,OUTPUT); //pin 3 merupakan output
pinMode (4,OUTPUT); // pin 4 merupakan output
pinMode (5,OUTPUT); // pin 5 merupakan output
pinMode (6,OUTPUT); // pin 6 merupakan output
pinMode (7,OUTPUT); // pin 7 merupakan output
pinMode (8,OUTPUT); // pin 8 merupakan output
pinMode (9,OUTPUT); // pin 9 merupakan output
pinMode (10,OUTPUT); // pin 10 merupakan output
pinMode (A1,INPUT); // pin A1 merupakan input
Serial.begin(9600); //pengiriman dan penerimaan data melalui port
serial dengan kecepatan 9600bit/detik

data = 0; //nilai data memiliki nilai awal adalah 0
temp = 0; //nilai temp memiliki nilai awal adalah 0
j=0; //nilai j adalah 0
}
void loop() {
```



```

int sensorValue = analogRead(A1);
float voltage = sensorValue * (4.94 / 1024.0);
float constanta = ((0.449090 + (voltage / 46.5562)) / 4.94);
float resistance = ((1000 * constanta) / (1-constanta));
float temperature1 = ((resistance - 100)/0.385);
float temperature = -6.07298 + 0.983508 * temperature1;
    if (banyakData < 100){
        totalSuhu = totalSuhu + temperature;
        banyakData++;}
    else{
        nilaiSuhu = totalSuhu/100.0;
        temp = (int)nilaiSuhu; //mendefinisikan nilaiSuhu dengan
type data integer sama dengan temp
        data = (char) temp; // mendefinisikan temp dengan tipe
data integer sama dengan data
        for (byte i=0; i<8; i++) //perulangan dengan kondisi dari
(0-7) dengan control loop i=i+1 dan menggunakan tipe data byte yang
berguna untuk menampung bilangan bulat yang berkisar antara 0
sampai 255
            {byte state = bitRead(data, i); //mendefinisikan state
dengan tipe data integer adalah data bit yang dibaca dari variabel data
atau i
                digitalWrite(pins[i], state); //merubah data byte state
menjadi data digital }
        Serial.println(nilaiSuhu); //mengirimkan data nilaiSuhu ke
port serial
        //Serial.println(voltage);
        //Serial.println(resistance);
        banyakData=0;//nilai banyakData adalah 0
        totalSuhu=0.0;//nilai totalSuhu adalah 0}
    delay (10);
}

```

## B. Program Pembacaan pH

```

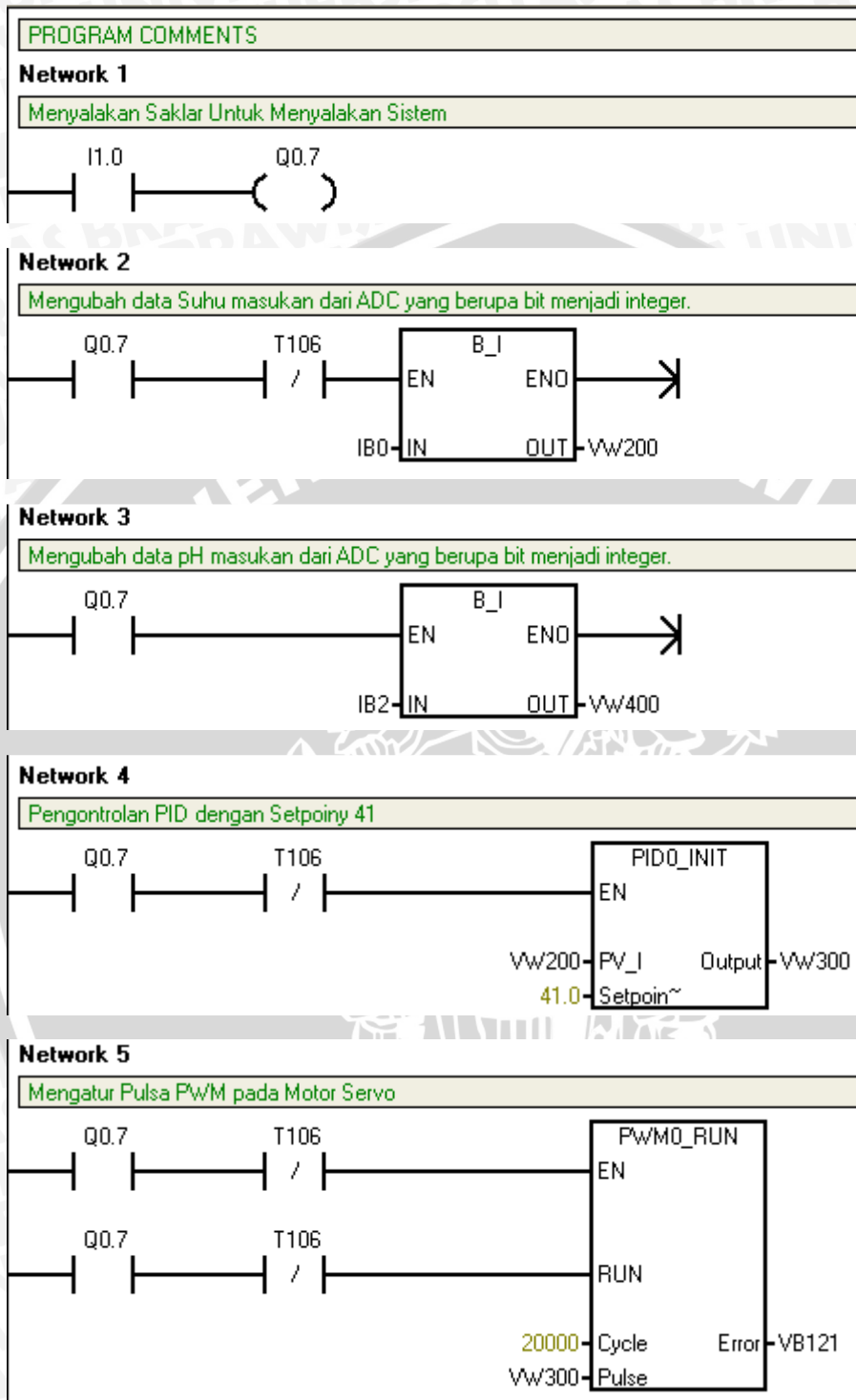
double PH,kal,reading,ph_aktual;//deklarasi variabel PH, kal, reading,
ph_aktual dengan tipe data double
int asam ;//deklarasi variabel asam dengan tipe data integer
char data;//deklarasi variabel data dengan tipe data char
byte pins[8] = {10,9, 8, 7, 6, 5, 4, 3};//deklarasi variabel pins
menggunakan
void setup() { //fungsi yang memiliki nilai kosong atau dengan default
void
pinMode (3,OUTPUT); //pin 3 merupakan output
pinMode (4,OUTPUT); // pin 4 merupakan output
pinMode (5,OUTPUT); // pin 5 merupakan output
pinMode (6,OUTPUT); // pin 6 merupakan output
pinMode (7,OUTPUT); // pin 7 merupakan output
pinMode (8,OUTPUT); // pin 8 merupakan output
pinMode (9,OUTPUT); // pin 9 merupakan output
pinMode (10,OUTPUT); // pin 10 merupakan output
pinMode (A0,INPUT); // pin A0 merupakan input
Serial.begin(9600); //pengiriman dan penerimaan data melalui port
serial dengan kecepatan 9600bit/detik
PH = 0;//nilai PH adalah 0
reading = 0;//nilai reading memiliki nilai awal adalah 0
asam=0;//nilai asam memiliki nilai awal adalah 0
data=0;//nilai data memiliki nilai awal adalah 0
}
void loop()
{
int i = 0;
reading = 0;
//pengambilan sample untuk pembacaan sensor ph sebanyak 100 kali
for (i=0;i<100;i++){
reading = reading +analogRead (A0);

```

```
        delay (20);
    }
    //menghitung rata2 pembacaan sensor PH
    reading = reading /i;
    //mengubah pembacaan sensor PH menjadi besaran volt
    PH = (reading/1024)*4.94;
    kal = 0.16979+0.994477*PH;
    ph_aktual = ((-kal+4.522619)/0.30214);
    asam = (int)ph_aktual;//mendefinisikan ph_aktual dengan
tipe data integer sama dengan asam
    data = (char)asam; //mendefinisikan asam dengan tipe
data char sama dengan data
    for (byte i=0; i<8; i++) //perulangan dengan kondisi dari
(0-7) dengan control loop i=i+1 dan menggunakan tipe data byte yang
berguna untuk menampung bilangan bulat yang berkisar antara 0
sampai 255
    {
        byte state = bitRead(data, i); //mendefinisikan state
dengan tipe data integer adalah data bit yang dibaca dari variabel data
atau i
        digitalWrite(pins[i], state); //merubah data byte state
menjadi data digital
    }
    Serial.println(ph_aktual); //mengirimkan data nilaiSuhu ke port
serial
}
```

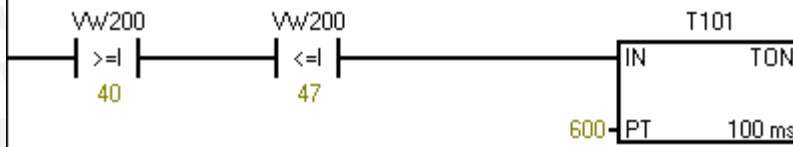


### C. Ladder PLC



**Network 6**

Timer 60 Sekon



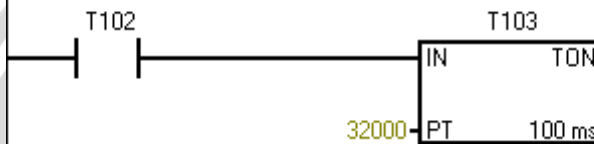
**Network 7**

Timer 3200 Sekon



**Network 8**

Timer 3200 Sekon



**Network 9**

Timer 3200 Sekon



**Network 10**

Timer 3200 Sekon



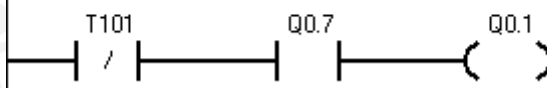
**Network 11**

Timer 1540 Sekon



**Network 12**

Menjalankan Pengaduk



# LAMPIRAN III

## DATASHEET





## PT100 Resistance Table

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	°C
-200.00	18.52										-200.00
-190.00	22.83	22.40	21.97	21.54	21.11	20.68	20.25	19.82	19.38	18.95	-190.00
-180.00	27.10	26.67	26.24	25.82	25.39	24.97	24.54	24.11	23.68	23.25	-180.00
-170.00	31.34	30.91	30.49	30.07	29.64	29.22	28.80	28.37	27.95	27.52	-170.00
-160.00	35.54	35.12	34.70	34.28	33.86	33.44	33.02	32.60	32.18	31.76	-160.00
-150.00	39.72	39.31	38.89	38.47	38.05	37.64	37.22	36.80	36.38	35.96	-150.00
-140.00	43.88	43.46	43.05	42.63	42.22	41.80	41.39	40.97	40.56	40.14	-140.00
-130.00	48.00	47.59	47.18	46.77	46.36	45.94	45.53	45.12	44.70	44.29	-130.00
-120.00	52.11	51.70	51.29	50.88	50.47	50.06	49.65	49.24	48.83	48.42	-120.00
-110.00	56.19	55.79	55.38	54.97	54.56	54.15	53.75	53.34	52.93	52.52	-110.00
-100.00	60.26	59.85	59.44	59.04	58.63	58.23	57.82	57.41	57.01	56.60	-100.00
-90.00	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.88	61.47	61.07	60.66	-90.00
-80.00	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.91	65.51	65.11	64.70	-80.00
-70.00	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73	-70.00
-60.00	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73	-60.00
-50.00	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.12	76.73	-50.00
-40.00	84.27	83.87	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70	-40.00
-30.00	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67	-30.00
-20.00	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62	-20.00
-10.00	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55	-10.00
0.00	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48	0.00
10.00	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	10.00
20.00	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	20.00
30.00	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	30.00
40.00	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	40.00
50.00	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	50.00
60.00	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	60.00
70.00	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	70.00
80.00	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	80.00
90.00	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	90.00
100.00	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	100.00
110.00	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	110.00
120.00	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	120.00
130.00	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	130.00
140.00	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	140.00
150.00	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68	150.00
160.00	161.05	161.43	161.80	162.17	162.54	162.91	163.29	163.66	164.03	164.40	160.00
170.00	164.77	165.14	165.51	165.89	166.26	166.63	167.00	167.37	167.74	168.11	170.00
180.00	168.48	168.85	169.22	169.59	169.96	170.33	170.70	171.07	171.43	171.80	180.00
190.00	172.17	172.54	172.91	173.28	173.65	174.02	174.38	174.75	175.12	175.49	190.00
200.00	175.86	176.22	176.59	176.96	177.33	177.69	178.06	178.43	178.79	179.16	200.00
210.00	179.53	179.89	180.26	180.63	180.99	181.36	181.72	182.09	182.46	182.82	210.00
220.00	183.19	183.55	183.92	184.28	184.65	185.01	185.38	185.74	186.11	186.47	220.00
230.00	186.84	187.20	187.56	187.93	188.29	188.66	189.02	189.38	189.75	190.11	230.00
240.00	190.47	190.84	191.20	191.56	191.92	192.29	192.65	193.01	193.37	193.74	240.00
250.00	194.10	194.46	194.82	195.18	195.55	195.91	196.27	196.63	196.99	197.35	250.00
260.00	197.71	198.07	198.43	198.79	199.15	199.51	199.87	200.23	200.59	200.95	260.00
270.00	201.31	201.67	202.03	202.39	202.75	203.11	203.47	203.83	204.19	204.55	270.00
280.00	204.90	205.26	205.62	205.98	206.34	206.70	207.05	207.41	207.77	208.13	280.00
290.00	208.48	208.84	209.20	209.56	209.91	210.27	210.63	210.98	211.34	211.70	290.00
300.00	212.05	212.41	212.76	213.12	213.48	213.83	214.19	214.54	214.90	215.25	300.00
310.00	215.61	215.96	216.32	216.67	217.03	217.38	217.74	218.09	218.44	218.80	310.00
320.00	219.15	219.51	219.86	220.21	220.57	220.92	221.27	221.63	221.98	222.33	320.00

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	°C
330.00	222.68	223.04	223.39	223.74	224.09	224.45	224.80	225.15	225.50	225.85	330.00
340.00	226.21	226.56	226.91	227.26	227.61	227.96	228.31	228.66	229.02	229.37	340.00
350.00	229.72	230.07	230.42	230.77	231.12	231.47	231.82	232.17	232.52	232.87	350.00
360.00	233.21	233.56	233.91	234.26	234.61	234.96	235.31	235.66	236.00	236.35	360.00
370.00	236.70	237.05	237.40	237.74	238.09	238.44	238.79	239.13	239.48	239.83	370.00
380.00	240.18	240.52	240.87	241.22	241.56	241.91	242.26	242.60	242.95	243.29	380.00
390.00	243.64	243.99	244.33	244.68	245.02	245.37	245.71	246.06	246.40	246.75	390.00
400.00	247.09	247.44	247.78	248.13	248.47	248.81	249.16	249.50	249.85	250.19	400.00
410.00	250.53	250.88	251.22	251.56	251.91	252.25	252.59	252.93	253.28	253.62	410.00
420.00	253.96	254.30	254.65	254.99	255.33	255.67	256.01	256.35	256.70	257.04	420.00
430.00	257.38	257.72	258.06	258.40	258.74	259.08	259.42	259.76	260.10	260.44	430.00
440.00	260.78	261.12	261.46	261.80	262.14	262.48	262.82	263.16	263.50	263.84	440.00
450.00	264.18	264.52	264.86	265.20	265.53	265.87	266.21	266.55	266.89	267.22	450.00
460.00	267.56	267.90	268.24	268.57	268.91	269.25	269.59	269.92	270.26	270.60	460.00
470.00	270.93	271.27	271.61	271.94	272.28	272.61	272.95	273.29	273.62	273.96	470.00
480.00	274.29	274.63	274.96	275.30	275.63	275.97	276.30	276.64	276.97	277.31	480.00
490.00	277.64	277.98	278.31	278.64	278.98	279.31	279.64	279.98	280.31	280.64	490.00
500.00	280.98	281.31	281.64	281.98	282.31	282.64	282.97	283.31	283.64	283.97	500.00
510.00	284.30	284.63	284.97	285.30	285.63	285.96	286.29	286.62	286.95	287.29	510.00
520.00	287.62	287.95	288.28	288.61	288.94	289.27	289.60	289.93	290.26	290.59	520.00
530.00	290.92	291.25	291.58	291.91	292.24	292.56	292.89	293.22	293.55	293.88	530.00
540.00	294.21	294.54	294.86	295.19	295.52	295.85	296.18	296.50	296.83	297.16	540.00
550.00	297.49	297.81	298.14	298.47	298.80	299.12	299.45	299.78	300.10	300.43	550.00
560.00	300.75	301.08	301.41	301.73	302.06	302.38	302.71	303.03	303.36	303.69	560.00
570.00	304.01	304.34	304.66	304.98	305.31	305.63	305.96	306.28	306.61	306.93	570.00
580.00	307.25	307.58	307.90	308.23	308.55	308.87	309.20	309.52	309.84	310.16	580.00
590.00	310.49	310.81	311.13	311.45	311.78	312.10	312.42	312.74	313.06	313.39	590.00
600.00	313.71	314.03	314.35	314.67	314.99	315.31	315.64	315.96	316.28	316.60	600.00
610.00	316.92	317.24	317.56	317.88	318.20	318.52	318.84	319.16	319.48	319.80	610.00
620.00	320.12	320.43	320.75	321.07	321.39	321.71	322.03	322.35	322.67	322.98	620.00
630.00	323.30	323.62	323.94	324.26	324.57	324.89	325.21	325.53	325.84	326.16	630.00
640.00	326.48	326.79	327.11	327.43	327.74	328.06	328.38	328.69	329.01	329.32	640.00
650.00	329.64	329.96	330.27	330.59	330.90	331.22	331.53	331.85	332.16	332.48	650.00
660.00	332.79	333.11	333.42	333.74	334.05	334.36	334.68	334.99	335.31	335.62	660.00
670.00	335.93	336.25	336.56	336.87	337.18	337.50	337.81	338.12	338.44	338.75	670.00
680.00	339.06	339.37	339.69	340.00	340.31	340.62	340.93	341.24	341.56	341.87	680.00
690.00	342.18	342.49	342.80	343.11	343.42	343.73	344.04	344.35	344.66	344.97	690.00
700.00	345.28	345.59	345.90	346.21	346.52	346.83	347.14	347.45	347.76	348.07	700.00
710.00	348.38	348.69	348.99	349.30	349.61	349.92	350.23	350.54	350.84	351.15	710.00
720.00	351.46	351.77	352.08	352.38	352.69	353.00	353.30	353.61	353.92	354.22	720.00
730.00	354.53	354.84	355.14	355.45	355.76	356.06	356.37	356.67	356.98	357.28	730.00
740.00	357.59	357.90	358.20	358.51	358.81	359.12	359.42	359.72	360.03	360.33	740.00
750.00	360.64	360.94	361.25	361.55	361.85	362.16	362.46	362.76	363.07	363.37	750.00
760.00	363.67	363.98	364.28	364.58	364.89	365.19	365.49	365.79	366.10	366.40	760.00
770.00	366.70	367.00	367.30	367.60	367.91	368.21	368.51	368.81	369.11	369.41	770.00
780.00	369.71	370.01	370.31	370.61	370.91	371.21	371.51	371.81	372.11	372.41	780.00
790.00	372.71	373.01	373.31	373.61	373.91	374.21	374.51	374.81	375.11	375.41	790.00
800.00	375.70	376.00	376.30	376.60	376.90	377.19	377.49	377.79	378.09	378.39	800.00
810.00	378.68	378.98	379.28	379.57	379.87	380.17	380.46	380.76	381.06	381.35	810.00
820.00	381.65	381.95	382.24	382.54	382.83	383.13	383.42	383.72	384.01	384.31	820.00
830.00	384.60	384.90	385.19	385.49	385.78	386.08	386.37	386.67	386.96	387.25	830.00
840.00	387.55	387.84	388.14	388.43	388.72	389.02	389.31	389.60	389.90	390.19	840.00
850.00	390.48										850.00

**Thermocouple Instruments Limited**

Pontygwindy Road, Caerphilly, CF83 2WJ, UK  
 Tel: (+44) 029 20807400 Fax: (+44) 029 20807410  
 Internet: <http://www.thermocouple.co.uk>  
 E-mail: [enquiries@thermocouple.co.uk](mailto:enquiries@thermocouple.co.uk)

All Rights Reserved. © Copyright 1999 Thermocouple Instruments Ltd.  
 Iss. 01



### FEATURES

#### Easy to use

- Gain set with one external resistor (Gain range 1 to 10,000)
- Wide power supply range ( $\pm 2.3\text{ V}$  to  $\pm 18\text{ V}$ )
- Higher performance than 3 op amp IA designs
- Available in 8-lead DIP and SOIC packaging
- Low power, 1.3 mA max supply current

#### Excellent dc performance (B grade)

- 50  $\mu\text{V}$  max, input offset voltage
- 0.6  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  max, input offset drift
- 1.0 nA max, input bias current
- 100 dB min common-mode rejection ratio ( $G = 10$ )

#### Low noise

- 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  @ 1 kHz, input voltage noise
- 0.28  $\mu\text{V}$  p-p noise (0.1 Hz to 10 Hz)

#### Excellent ac specifications

- 120 kHz bandwidth ( $G = 100$ )
- 15  $\mu\text{s}$  settling time to 0.01%

### APPLICATIONS

- Weigh scales
- ECG and medical instrumentation
- Transducer interface
- Data acquisition systems
- Industrial process controls
- Battery-powered and portable equipment

### CONNECTION DIAGRAM

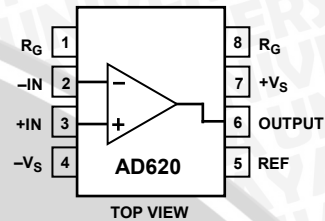


Figure 1. 8-Lead PDIP (N), CERDIP (Q), and SOIC (R) Packages

### PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to 10,000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery-powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50  $\mu\text{V}$  max, and offset drift of 0.6  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications, such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of SuperBeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  at 1 kHz, 0.28  $\mu\text{V}$  p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, and 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$  input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15  $\mu\text{s}$  to 0.01%, and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

Table 1. Next Generation Upgrades for AD620

Part	Comment
AD8221	Better specs at lower price
AD8222	Dual channel or differential out
AD8226	Low power, wide input range
AD8220	JFET input
AD8228	Best gain accuracy
AD8295	+2 precision op amps or differential out
AD8429	Ultra low noise

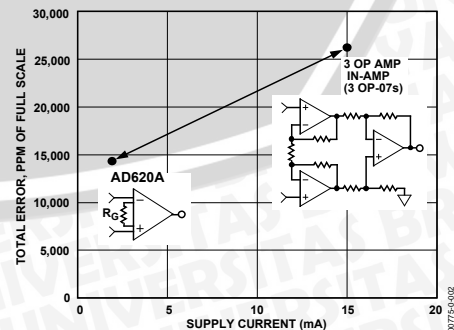


Figure 2. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

#### Rev. H

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.



**TABLE OF CONTENTS**

Specifications .....	3	RF Interference .....	15
Absolute Maximum Ratings .....	5	Common-Mode Rejection.....	16
ESD Caution .....	5	Grounding.....	16
Typical Performance Characteristics .....	6	Ground Returns for Input Bias Currents.....	17
Theory of Operation .....	12	AD620ACHIPS Information.....	18
Gain Selection.....	15	Outline Dimensions.....	19
Input and Output Offset Voltage .....	15	Ordering Guide .....	20
Reference Terminal .....	15		
Input Protection .....	15		

**REVISION HISTORY**

**7/11—Rev. G to Rev. H**

Deleted Figure 3.....	1
Added Table 1 .....	1
Moved Figure 2.....	1
Added ESD Input Diodes to Simplified Schematic .....	12
Changes to Input Protection Section.....	15
Added Figure 41; Renumbered Sequentially.....	15
Changes to AD620ACHIPS Information Section .....	18
Updated Ordering Guide .....	20

**12/04—Rev. F to Rev. G**

Updated Format.....	Universal
Change to Features .....	1
Change to Product Description.....	1
Changes to Specifications.....	3
Added Metallization Photograph.....	4
Replaced Figure 4-Figure 6 .....	6
Replaced Figure 15 .....	7
Replaced Figure 33 .....	10
Replaced Figure 34 and Figure 35.....	10
Replaced Figure 37 .....	10
Changes to Table 3 .....	13
Changes to Figure 41 and Figure 42 .....	14
Changes to Figure 43 .....	15
Change to Figure 44 .....	17

Changes to Input Protection section .....	15
Deleted Figure 9 .....	15
Changes to RF Interference section.....	15
Edit to Ground Returns for Input Bias Currents section.....	17
Added AD620CHIPS to Ordering Guide .....	19

**7/03—Data Sheet Changed from Rev. E to Rev. F**

Edit to FEATURES.....	1
Changes to SPECIFICATIONS .....	2
Removed AD620CHIPS from ORDERING GUIDE .....	4
Removed METALLIZATION PHOTOGRAPH.....	4
Replaced TPCs 1–3 .....	5
Replaced TPC 12 .....	6
Replaced TPC 30 .....	9
Replaced TPCs 31 and 32.....	10
Replaced Figure 4.....	10
Changes to Table I.....	11
Changes to Figures 6 and 7.....	12
Changes to Figure 8 .....	13
Edited INPUT PROTECTION section.....	13
Added new Figure 9.....	13
Changes to RF INTERFACE section .....	14
Edit to GROUND RETURNS FOR INPUT BIAS CURRENTS section.....	15
Updated OUTLINE DIMENSIONS.....	16

## SPECIFICATIONS

Typical @ 25°C,  $V_S = \pm 15$  V, and  $R_L = 2$  k $\Omega$ , unless otherwise noted.

Table 2.

Parameter	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S <sup>1</sup>			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>GAIN</b>	$G = 1 + (49.4 \text{ k}\Omega/R_G)$										
Gain Range		1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Error <sup>2</sup>	$V_{OUT} = \pm 10$ V										
G = 1			0.03	0.10		0.01	0.02		0.03	0.10	%
G = 10			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 100			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 1000			0.40	0.70		0.35	0.50		0.40	0.70	%
<b>Nonlinearity</b>	$V_{OUT} = -10$ V to $+10$ V										
G = 1–1000	$R_L = 10$ k $\Omega$		10	40		10	40		10	40	ppm
G = 1–100	$R_L = 2$ k $\Omega$		10	95		10	95		10	95	ppm
<b>Gain vs. Temperature</b>											
G = 1				10			10			10	ppm/°C
Gain > 1 <sup>2</sup>				–50			–50			–50	ppm/°C
<b>VOLTAGE OFFSET</b>	(Total RTI Error = $V_{OSI} + V_{OSO}/G$ )										
Input Offset, $V_{OSI}$	$V_S = \pm 5$ V to $\pm 15$ V		30	125		15	50		30	125	$\mu$ V
Overtemperature	$V_S = \pm 5$ V to $\pm 15$ V			185			85			225	$\mu$ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to $\pm 15$ V		0.3	1.0		0.1	0.6		0.3	1.0	$\mu$ V/°C
Output Offset, $V_{OSO}$	$V_S = \pm 15$ V		400	1000		200	500		400	1000	$\mu$ V
Overtemperature	$V_S = \pm 5$ V			1500			750			1500	$\mu$ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to $\pm 15$ V		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	$\mu$ V/°C
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)	$V_S = \pm 2.3$ V to $\pm 18$ V										
G = 1		80	100		80	100		80	100		dB
G = 10		95	120		100	120		95	120		dB
G = 100		110	140		120	140		110	140		dB
G = 1000		110	140		120	140		110	140		dB
<b>INPUT CURRENT</b>											
Input Bias Current			0.5	2.0		0.5	1.0		0.5	2	nA
Overtemperature				2.5			1.5			4	nA
Average TC			3.0			3.0			8.0		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1.0		0.3	0.5		0.3	1.0	nA
Overtemperature				1.5			0.75			2.0	nA
Average TC			1.5			1.5			8.0		pA/°C
<b>INPUT</b>											
Input Impedance											
Differential			10  2			10  2			10  2		G $\Omega$ _pF
Common-Mode			10  2			10  2			10  2		G $\Omega$ _pF
Input Voltage Range <sup>3</sup>	$V_S = \pm 2.3$ V to $\pm 5$ V	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	V
Overtemperature	$V_S = \pm 5$ V to $\pm 18$ V	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	V
Overtemperature		$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	V
Overtemperature		$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 2.1$		$+V_S + 2.1$	$-V_S + 2.3$		$+V_S - 1.4$	V

# AD620

Parameter	Conditions	AD620A		AD620B			AD620S <sup>1</sup>			Unit
		Min	Typ Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Common-Mode Rejection										
Ratio DC to 60 Hz with 1 kΩ Source Imbalance	$V_{CM} = 0\text{ V to } \pm 10\text{ V}$									
G = 1		73	90	80	90	73	90			dB
G = 10		93	110	100	110	93	110			dB
G = 100		110	130	120	130	110	130			dB
G = 1000		110	130	120	130	110	130			dB
OUTPUT										
Output Swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 2.3\text{ V}$ to $\pm 5\text{ V}$	$-V_S + 1.1$	$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$	$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$	$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$	$+V_S - 1.2$	V
Overtemperature	$V_S = \pm 5\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$	$-V_S + 1.4$	$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.4$	$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.3$	V
Overtemperature		$-V_S + 1.2$	$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$	$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$	$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$	$+V_S - 1.4$	V
Short Circuit Current		$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.5$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.5$	$-V_S + 2.3$	$+V_S - 1.5$	$-V_S + 2.3$	$+V_S - 1.5$	V
			$\pm 18$		$\pm 18$		$\pm 18$		$\pm 18$	mA
DYNAMIC RESPONSE										
Small Signal -3 dB Bandwidth	10 V Step									
G = 1			1000		1000		1000		1000	kHz
G = 10			800		800		800		800	kHz
G = 100			120		120		120		120	kHz
G = 1000			12		12		12		12	kHz
Slew Rate		0.75	1.2	0.75	1.2	0.75	1.2	0.75	1.2	V/ $\mu$ s
Settling Time to 0.01%										
G = 1-100			15		15		15		15	$\mu$ s
G = 1000			150		150		150		150	$\mu$ s
NOISE										
Voltage Noise, 1 kHz	$Total\ RTI\ Noise = \sqrt{(e_{ni}^2) + (e_{no}/G)^2}$									
Input, Voltage Noise, $e_{ni}$		9	13	9	13	9	13	9	13	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Output, Voltage Noise, $e_{no}$		72	100	72	100	72	100	72	100	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
RTI, 0.1 Hz to 10 Hz										
G = 1		3.0	6.0	3.0	6.0	3.0	6.0	3.0	6.0	$\mu$ V p-p
G = 10		0.55	0.8	0.55	0.8	0.55	0.8	0.55	0.8	$\mu$ V p-p
G = 100-1000		0.28	0.4	0.28	0.4	0.28	0.4	0.28	0.4	$\mu$ V p-p
Current Noise	$f = 1\text{ kHz}$	100		100		100		100		fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
0.1 Hz to 10 Hz		10		10		10		10		pA p-p
REFERENCE INPUT										
$R_{IN}$	$V_{IN+}, V_{REF} = 0$	20		20		20		20		k $\Omega$
$I_{IN}$		50	60	50	60	50	60	50	60	$\mu$ A
Voltage Range		$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.6$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.6$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.6$	$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.6$	V
Gain to Output		$1 \pm 0.0001$		$1 \pm 0.0001$		$1 \pm 0.0001$		$1 \pm 0.0001$		
POWER SUPPLY										
Operating Range <sup>4</sup>	$V_S = \pm 2.3\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$	$\pm 2.3$	$\pm 18$	$\pm 2.3$	$\pm 18$	$\pm 2.3$	$\pm 18$	$\pm 2.3$	$\pm 18$	V
Quiescent Current		0.9	1.3	0.9	1.3	0.9	1.3	0.9	1.3	mA
Overtemperature		1.1	1.6	1.1	1.6	1.1	1.6	1.1	1.6	mA
TEMPERATURE RANGE										
For Specified Performance		$-40\text{ to }+85$		$-40\text{ to }+85$			$-55\text{ to }+125$			$^{\circ}\text{C}$

<sup>1</sup> See Analog Devices military data sheet for 883B tested specifications.

<sup>2</sup> Does not include effects of external resistor  $R_G$ .

<sup>3</sup> One input grounded.  $G = 1$ .

<sup>4</sup> This is defined as the same supply range that is used to specify PSR.



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 3.

Parameter	Rating
Supply Voltage	±18 V
Internal Power Dissipation <sup>1</sup>	650 mW
Input Voltage (Common-Mode)	±V <sub>s</sub>
Differential Input Voltage	25 V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range (Q)	–65°C to +150°C
Storage Temperature Range (N, R)	–65°C to +125°C
Operating Temperature Range	
AD620 (A, B)	–40°C to +85°C
AD620 (S)	–55°C to +125°C
Lead Temperature Range (Soldering 10 seconds)	300°C

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ESD CAUTION



**ESD (electrostatic discharge) sensitive device.** Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

<sup>1</sup> Specification is for device in free air:  
 8-Lead Plastic Package:  $\theta_{JA} = 95^{\circ}\text{C}$   
 8-Lead CERDIP Package:  $\theta_{JA} = 110^{\circ}\text{C}$   
 8-Lead SOIC Package:  $\theta_{JA} = 155^{\circ}\text{C}$



# AD620

## TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

(@ 25°C,  $V_s = \pm 15\text{ V}$ ,  $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , unless otherwise noted.)

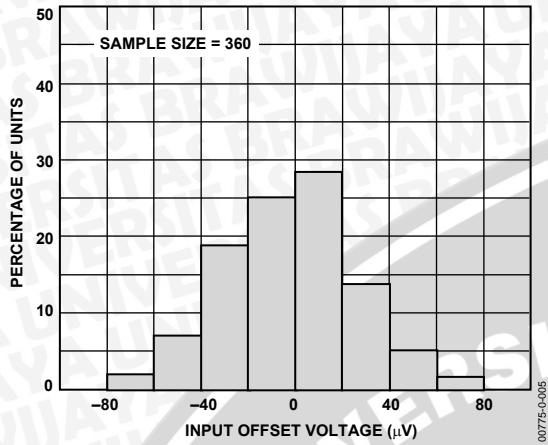


Figure 3. Typical Distribution of Input Offset Voltage

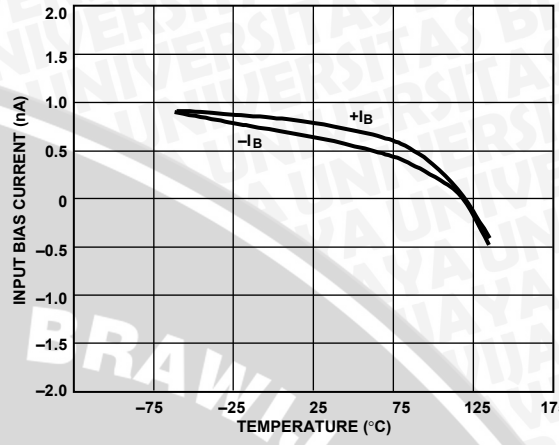


Figure 6. Input Bias Current vs. Temperature

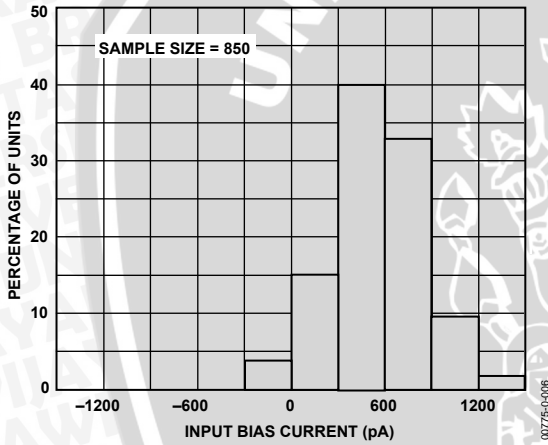


Figure 4. Typical Distribution of Input Bias Current

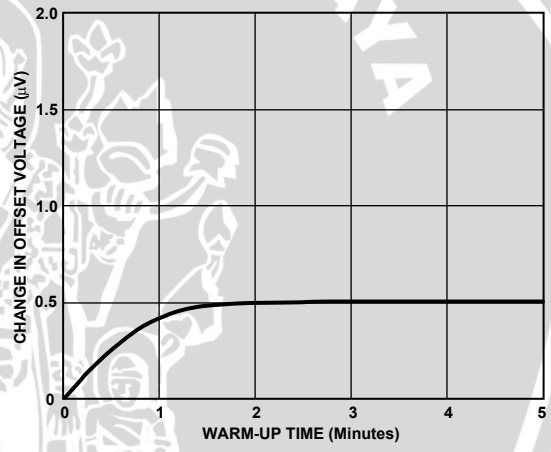


Figure 7. Change in Input Offset Voltage vs. Warm-Up Time

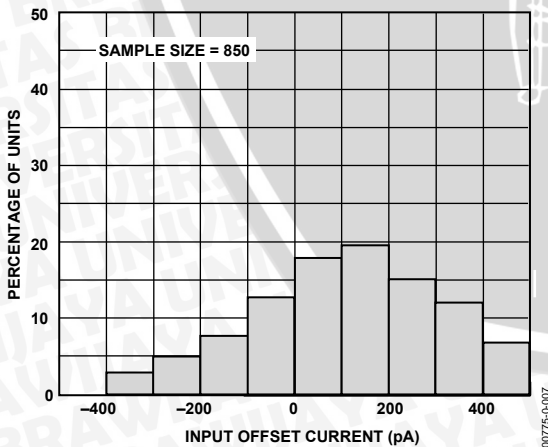


Figure 5. Typical Distribution of Input Offset Current

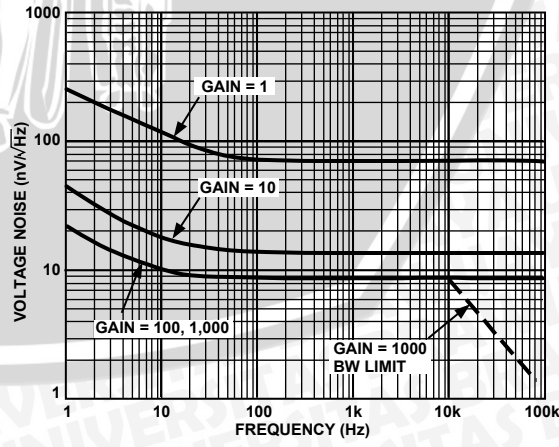


Figure 8. Voltage Noise Spectral Density vs. Frequency ( $G = 1-1000$ )

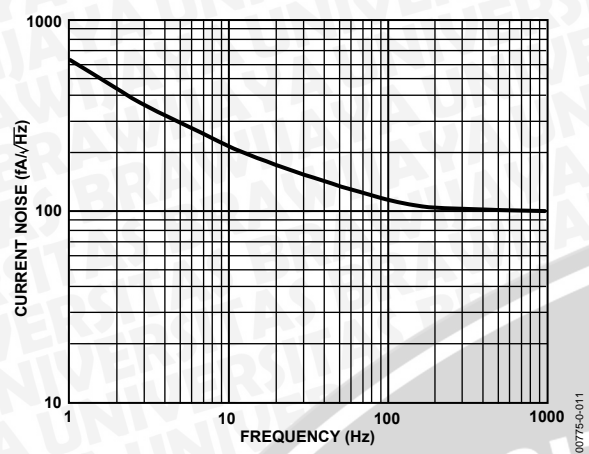


Figure 9. Current Noise Spectral Density vs. Frequency

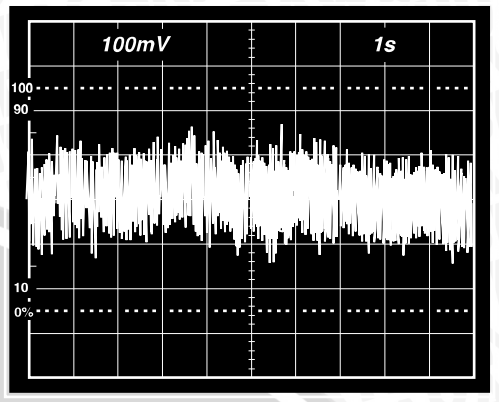


Figure 12. 0.1 Hz to 10 Hz Current Noise, 5 pA/Div

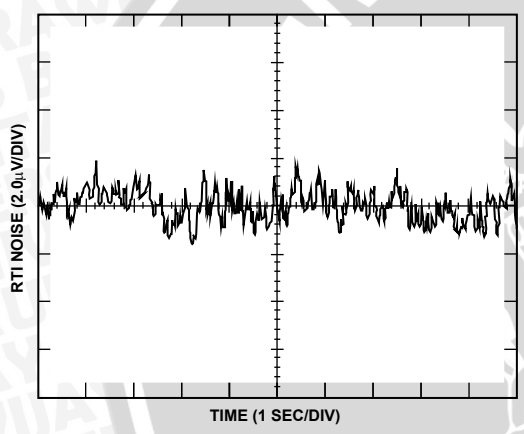


Figure 10. 0.1 Hz to 10 Hz RTI Voltage Noise (G = 1)

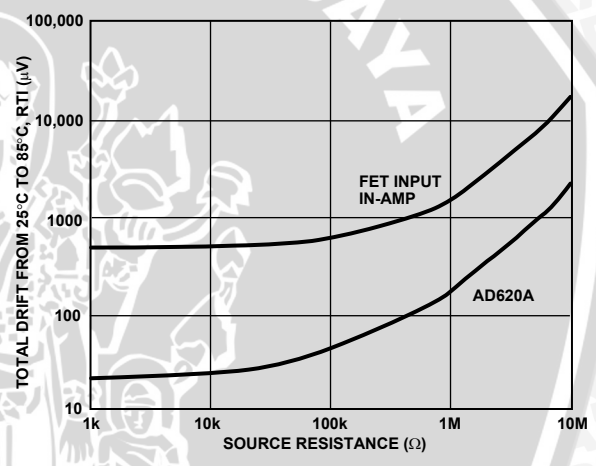


Figure 13. Total Drift vs. Source Resistance

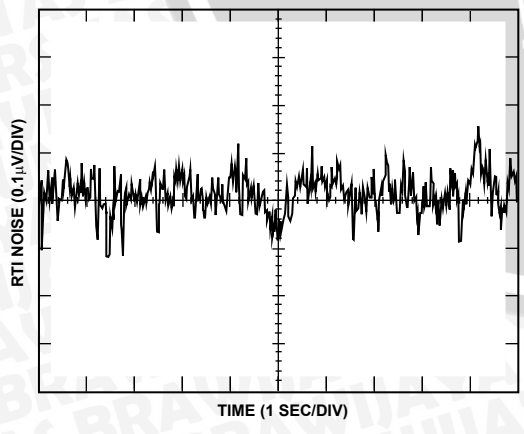


Figure 11. 0.1 Hz to 10 Hz RTI Voltage Noise (G = 1000)

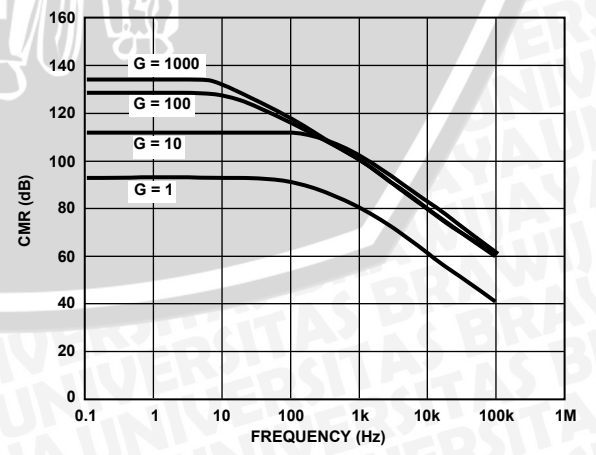


Figure 14. Typical CMR vs. Frequency, RTI, Zero to 1 kΩ Source Imbalance



# AD620

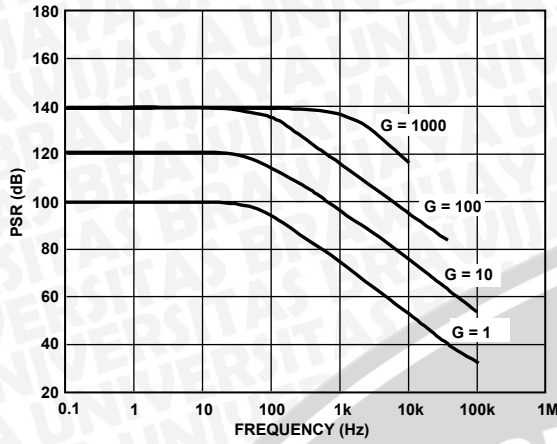


Figure 15. Positive PSR vs. Frequency, RTI (G = 1–1000)

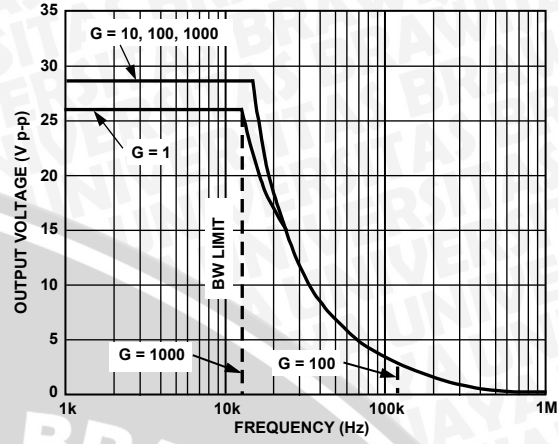


Figure 18. Large Signal Frequency Response

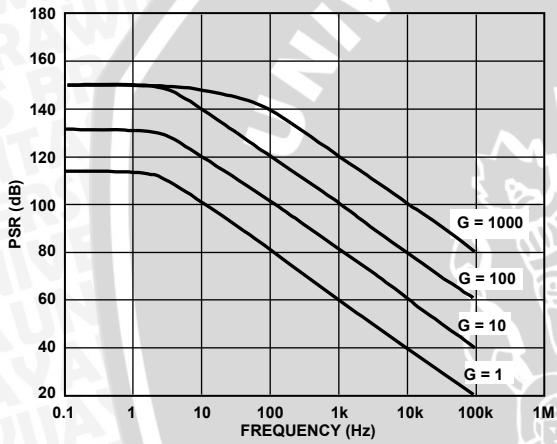


Figure 16. Negative PSR vs. Frequency, RTI (G = 1–1000)

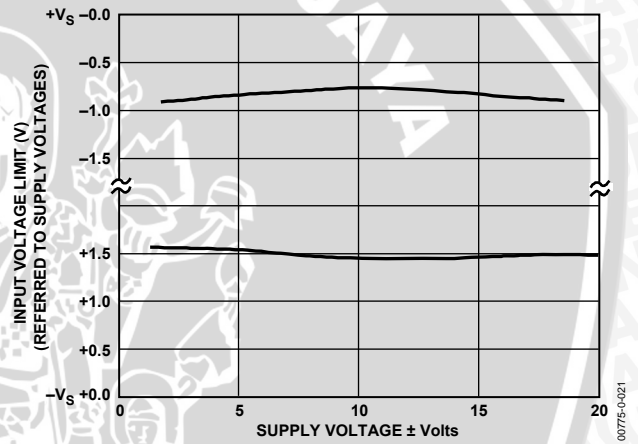


Figure 19. Input Voltage Range vs. Supply Voltage, G = 1

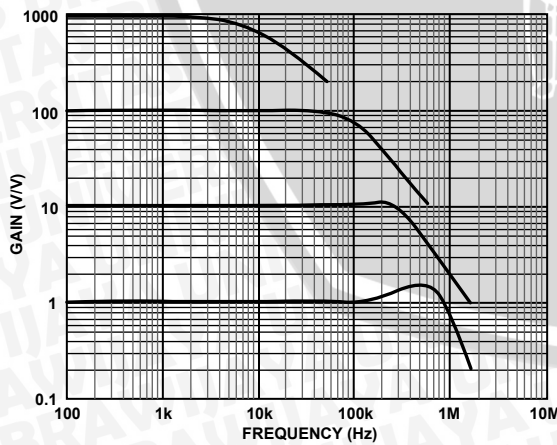


Figure 17. Gain vs. Frequency

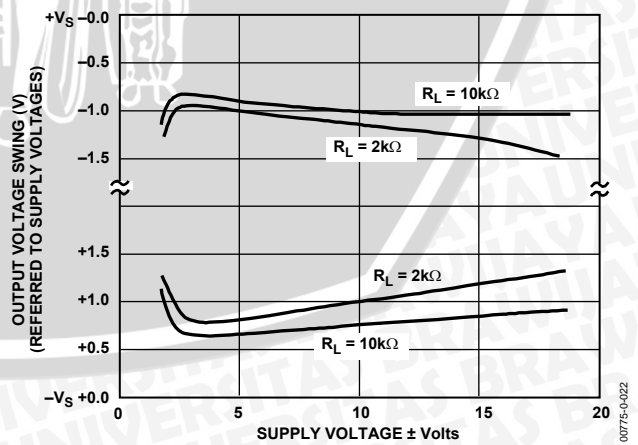


Figure 20. Output Voltage Swing vs. Supply Voltage, G = 10

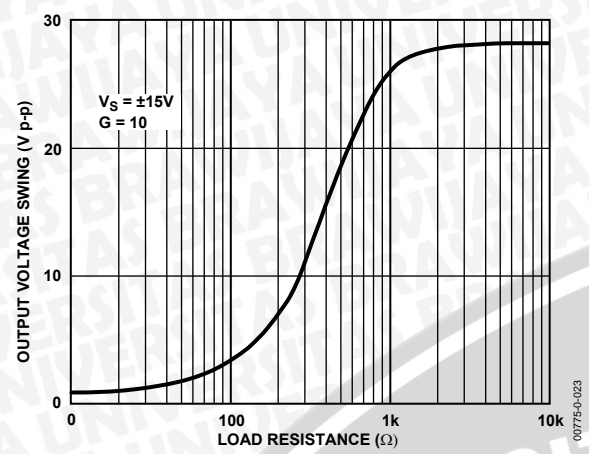


Figure 21. Output Voltage Swing vs. Load Resistance

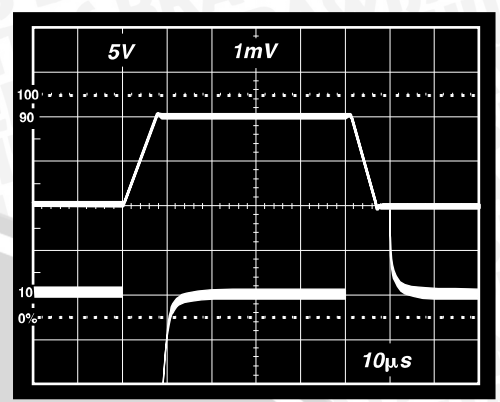


Figure 24. Large Signal Response and Settling Time,  $G = 10$  ( $0.5 \text{ mV} = 0.01\%$ )

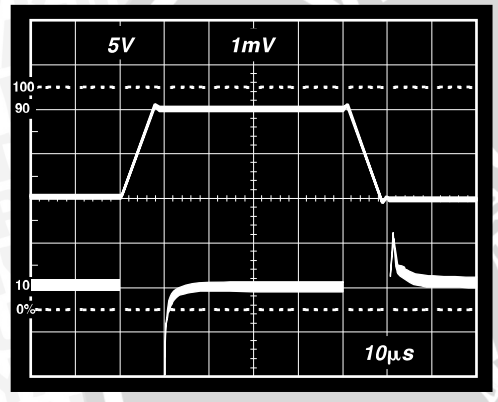


Figure 22. Large Signal Pulse Response and Settling Time  $G = 1$  ( $0.5 \text{ mV} = 0.01\%$ )

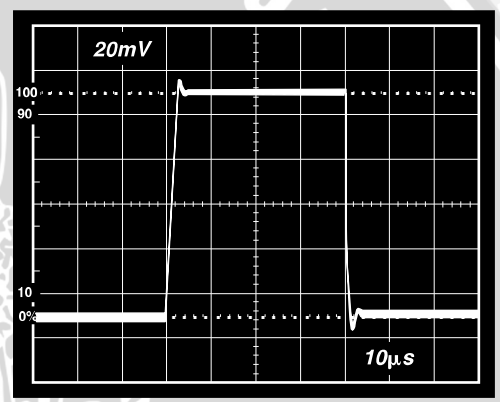


Figure 25. Small Signal Response,  $G = 10$ ,  $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $C_L = 100 \text{ pF}$

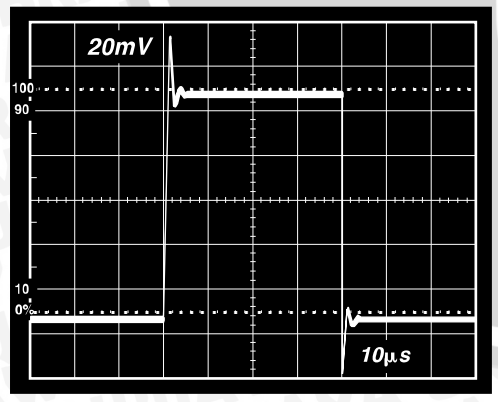


Figure 23. Small Signal Response,  $G = 1$ ,  $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $C_L = 100 \text{ pF}$

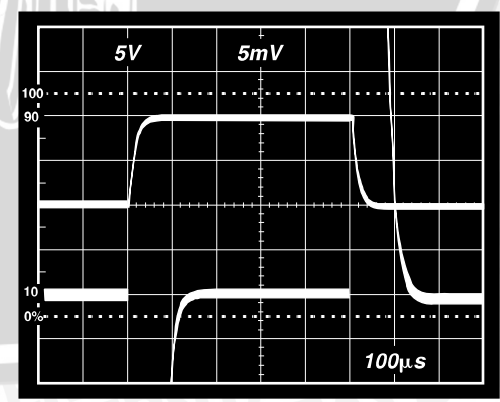
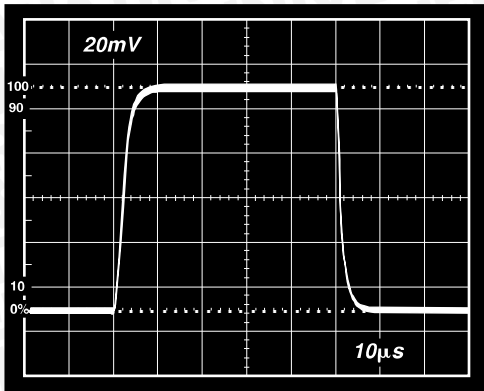


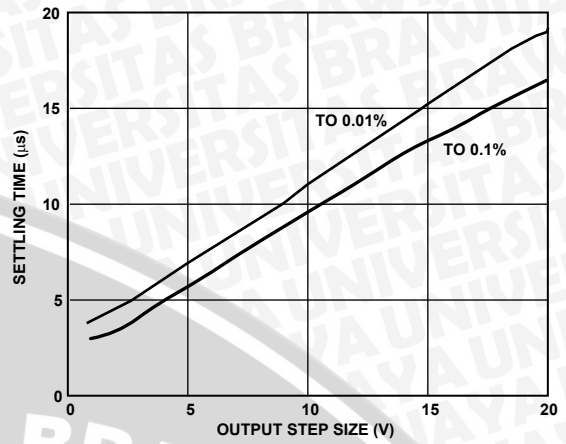
Figure 26. Large Signal Response and Settling Time,  $G = 100$  ( $0.5 \text{ mV} = 0.01\%$ )

# AD620



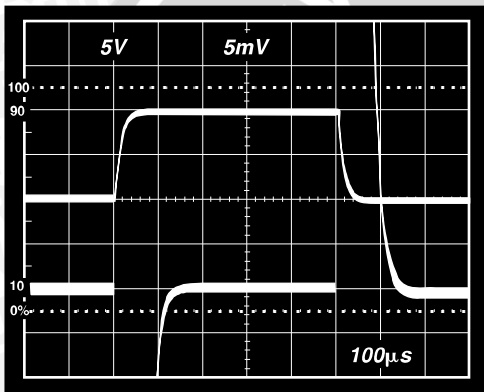
00775-0-028

Figure 27. Small Signal Pulse Response,  $G = 100$ ,  $R_L = 2\text{ k}\Omega$ ,  $C_L = 100\text{ pF}$



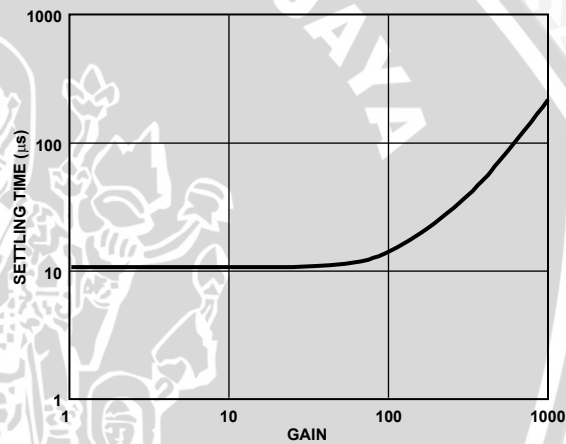
00775-0-032

Figure 30. Settling Time vs. Step Size ( $G = 1$ )



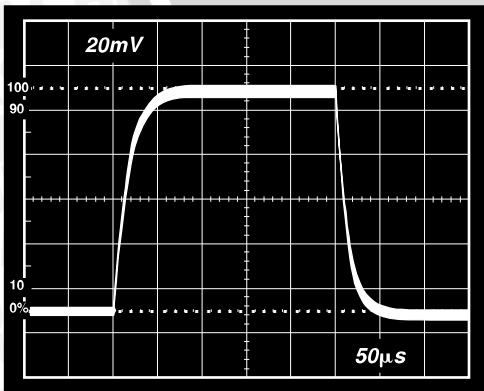
00775-0-030

Figure 28. Large Signal Response and Settling Time,  $G = 1000$  ( $0.5\text{ mV} = 0.01\%$ )



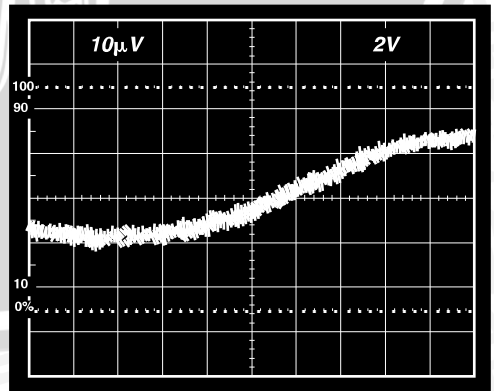
00775-0-033

Figure 31. Settling Time to 0.01% vs. Gain, for a 10V Step



00775-0-031

Figure 29. Small Signal Pulse Response,  $G = 1000$ ,  $R_L = 2\text{ k}\Omega$ ,  $C_L = 100\text{ pF}$



00775-0-034

Figure 32. Gain Nonlinearity,  $G = 1$ ,  $R_L = 10\text{ k}\Omega$  ( $10\text{ }\mu\text{V} = 1\text{ ppm}$ )



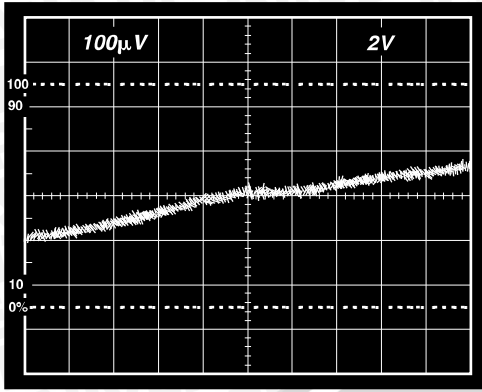


Figure 33. Gain Nonlinearity,  $G = 100$ ,  $R_L = 10\text{ k}\Omega$   
( $100\ \mu\text{V} = 10\text{ ppm}$ )

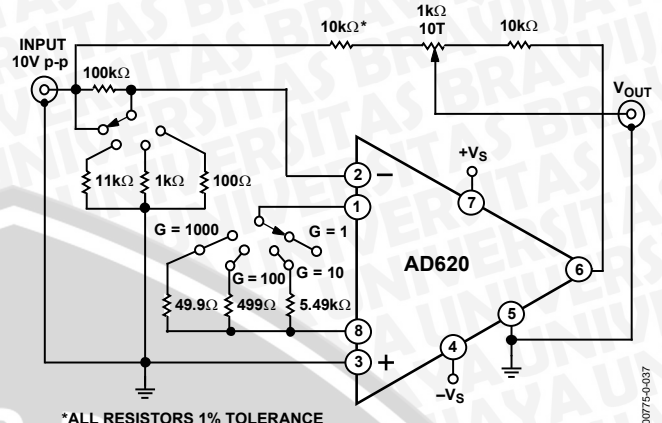


Figure 35. Settling Time Test Circuit

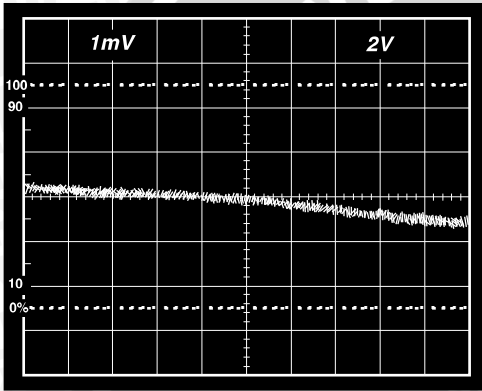


Figure 34. Gain Nonlinearity,  $G = 1000$ ,  $R_L = 10\text{ k}\Omega$   
( $1\text{ mV} = 100\text{ ppm}$ )



AD620

THEORY OF OPERATION

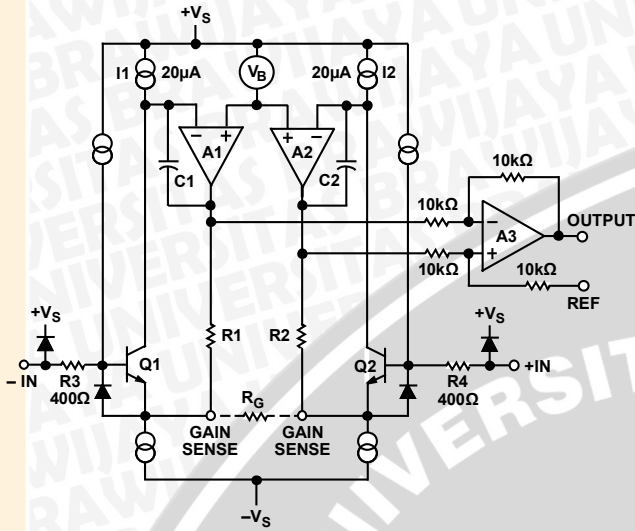


Figure 36. Simplified Schematic of AD620

The AD620 is a monolithic instrumentation amplifier based on a modification of the classic three op amp approach. Absolute value trimming allows the user to program gain *accurately* (to 0.15% at  $G = 100$ ) with only one resistor. Monolithic construction and laser wafer trimming allow the tight matching and tracking of circuit components, thus ensuring the high level of performance inherent in this circuit.

The input transistors Q1 and Q2 provide a single differential-pair bipolar input for high precision (Figure 36), yet offer  $10\times$  lower input bias current thanks to Superbeta processing. Feedback through the Q1-A1-R1 loop and the Q2-A2-R2 loop maintains constant collector current of the input devices Q1 and Q2, thereby impressing the input voltage across the external gain setting resistor  $R_G$ . This creates a differential gain from the inputs to the A1/A2 outputs given by  $G = (R1 + R2)/R_G + 1$ . The unity-gain subtractor, A3, removes any common-mode signal, yielding a single-ended output referred to the REF pin potential.

The value of  $R_G$  also determines the transconductance of the preamp stage. As  $R_G$  is reduced for larger gains, the transconductance increases asymptotically to that of the input transistors. This has three important advantages: (a) Open-loop gain is boosted for increasing programmed gain, thus reducing gain related errors. (b) The gain-bandwidth product (determined by C1 and C2 and the preamp transconductance) increases with programmed gain, thus optimizing frequency response. (c) The input voltage noise is reduced to a value of  $9\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ , determined mainly by the collector current and base resistance of the input devices.

The internal gain resistors, R1 and R2, are trimmed to an absolute value of  $24.7\text{ k}\Omega$ , allowing the gain to be programmed accurately with a single external resistor.

The gain equation is then

$$G = \frac{49.4\text{ k}\Omega}{R_G} + 1$$

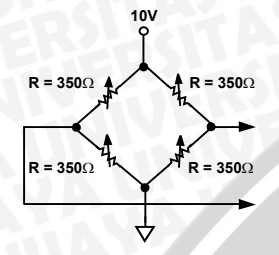
$$R_G = \frac{49.4\text{ k}\Omega}{G - 1}$$

**Make vs. Buy: a Typical Bridge Application Error Budget**

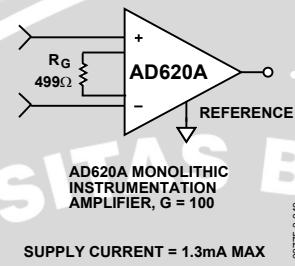
The AD620 offers improved performance over “homebrew” three op amp IA designs, along with smaller size, fewer components, and  $10\times$  lower supply current. In the typical application, shown in Figure 37, a gain of 100 is required to amplify a bridge output of 20 mV full-scale over the industrial temperature range of  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ . Table 4 shows how to calculate the effect various error sources have on circuit accuracy.

Regardless of the system in which it is being used, the AD620 provides greater accuracy at low power and price. In simple systems, absolute accuracy and drift errors are by far the most significant contributors to error. In more complex systems with an intelligent processor, an autogain/autozero cycle removes all absolute accuracy and drift errors, leaving only the resolution errors of gain, nonlinearity, and noise, thus allowing full 14-bit accuracy.

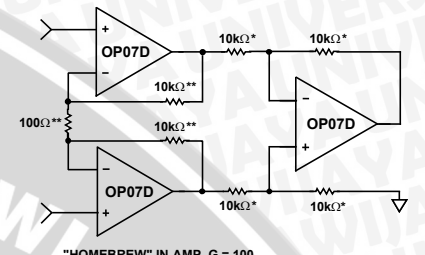
Note that for the homebrew circuit, the OP07 specifications for input voltage offset and noise have been multiplied by  $\sqrt{2}$ . This is because a three op amp type in-amp has two op amps at its inputs, both contributing to the overall input error.



PRECISION BRIDGE TRANSDUCER



AD620A MONOLITHIC INSTRUMENTATION AMPLIFIER, G = 100  
SUPPLY CURRENT = 1.3mA MAX



"HOMEBREW" IN-AMP, G = 100  
\*0.02% RESISTOR MATCH, 3ppm/°C TRACKING  
\*\*DISCRETE 1% RESISTOR, 100ppm/°C TRACKING  
SUPPLY CURRENT = 15mA MAX

Figure 37. Make vs. Buy

Table 4. Make vs. Buy Error Budget

Error Source	AD620 Circuit Calculation	"Homebrew" Circuit Calculation	Error, ppm of Full Scale	
			AD620	Homebrew
<b>ABSOLUTE ACCURACY at T<sub>A</sub> = 25°C</b>				
Input Offset Voltage, $\mu\text{V}$	125 $\mu\text{V}/20\text{ mV}$	$(150\ \mu\text{V} \times \sqrt{2})/20\text{ mV}$	6,250	10,607
Output Offset Voltage, $\mu\text{V}$	1000 $\mu\text{V}/100\text{ mV}/20\text{ mV}$	$((150\ \mu\text{V} \times 2)/100)/20\text{ mV}$	500	150
Input Offset Current, nA	2 nA $\times 350\ \Omega/20\text{ mV}$	$(6\text{ nA} \times 350\ \Omega)/20\text{ mV}$	18	53
CMR, dB	110 dB(3.16 ppm) $\times 5\text{ V}/20\text{ mV}$	$(0.02\% \text{ Match} \times 5\text{ V})/20\text{ mV}/100$	791	500
Total Absolute Error			7,559	11,310
<b>DRIFT TO 85°C</b>				
Gain Drift, ppm/°C	$(50\text{ ppm} + 10\text{ ppm}) \times 60^\circ\text{C}$	100 ppm/°C Track $\times 60^\circ\text{C}$	3,600	6,000
Input Offset Voltage Drift, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	1 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}/20\text{ mV}$	$(2.5\ \mu\text{V}/^\circ\text{C} \times \sqrt{2} \times 60^\circ\text{C})/20\text{ mV}$	3,000	10,607
Output Offset Voltage Drift, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}/100\text{ mV}/20\text{ mV}$	$(2.5\ \mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 2 \times 60^\circ\text{C})/100\text{ mV}/20\text{ mV}$	450	150
Total Drift Error			7,050	16,757
<b>RESOLUTION</b>				
Gain Nonlinearity, ppm of Full Scale	40 ppm	40 ppm	40	40
Typ 0.1 Hz to 10 Hz Voltage Noise, $\mu\text{V p-p}$	0.28 $\mu\text{V p-p}/20\text{ mV}$	$(0.38\ \mu\text{V p-p} \times \sqrt{2})/20\text{ mV}$	14	27
Total Resolution Error			54	67
Grand Total Error			14,663	28,134

G = 100, V<sub>s</sub> =  $\pm 15\text{ V}$ .  
(All errors are min/max and referred to input.)



# AD620

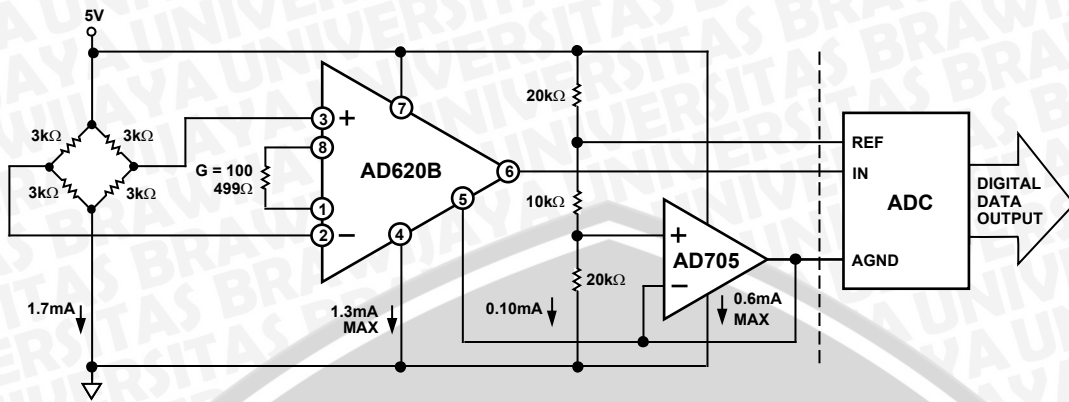


Figure 38. A Pressure Monitor Circuit that Operates on a 5 V Single Supply

0075-0-042

## Pressure Measurement

Although useful in many bridge applications, such as weigh scales, the AD620 is especially suitable for higher resistance pressure sensors powered at lower voltages where small size and low power become more significant.

Figure 38 shows a 3 kΩ pressure transducer bridge powered from 5 V. In such a circuit, the bridge consumes only 1.7 mA. Adding the AD620 and a buffered voltage divider allows the signal to be conditioned for only 3.8 mA of total supply current.

Small size and low cost make the AD620 especially attractive for voltage output pressure transducers. Since it delivers low noise and drift, it also serves applications such as diagnostic noninvasive blood pressure measurement.

## Medical ECG

The low current noise of the AD620 allows its use in ECG monitors (Figure 39) where high source resistances of 1 MΩ or higher are not uncommon. The AD620's low power, low supply voltage requirements, and space-saving 8-lead mini-DIP and SOIC package offerings make it an excellent choice for battery-powered data recorders.

Furthermore, the low bias currents and low current noise, coupled with the low voltage noise of the AD620, improve the dynamic range for better performance.

The value of capacitor C1 is chosen to maintain stability of the right leg drive loop. Proper safeguards, such as isolation, must be added to this circuit to protect the patient from possible harm.

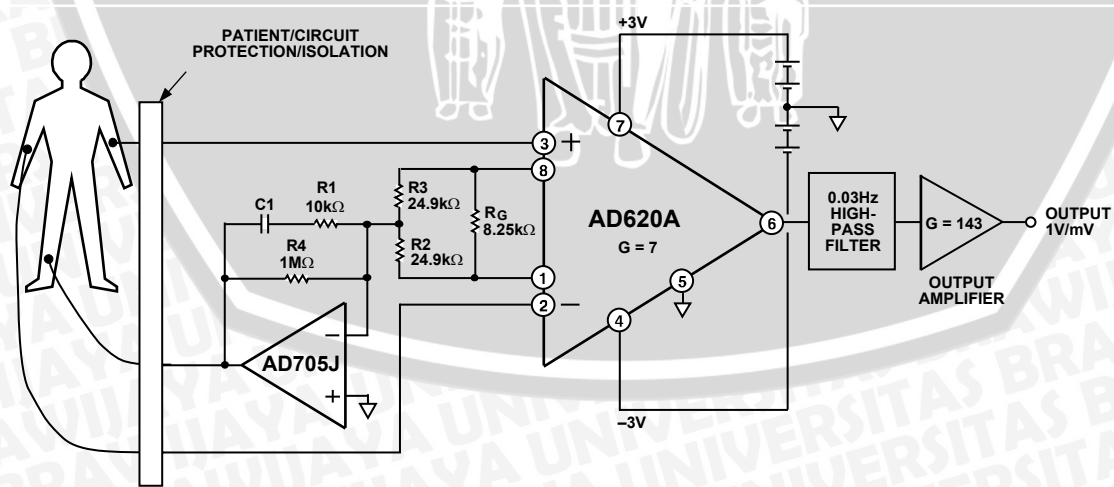


Figure 39. A Medical ECG Monitor Circuit

0075-0-043

**Precision V-I Converter**

The AD620, along with another op amp and two resistors, makes a precision current source (Figure 40). The op amp buffers the reference terminal to maintain good CMR. The output voltage,  $V_x$ , of the AD620 appears across  $R_1$ , which converts it to a current. This current, less only the input bias current of the op amp, then flows out to the load.

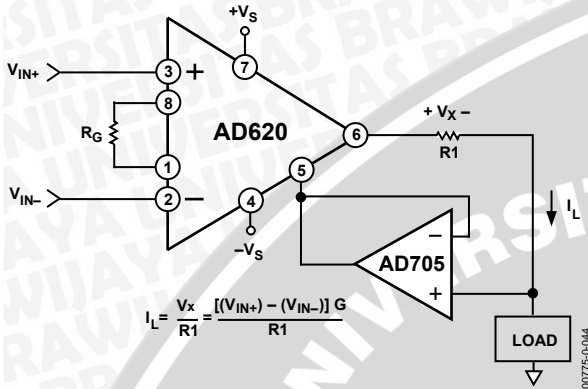


Figure 40. Precision Voltage-to-Current Converter (Operates on 1.8 mA, ±3 V)

**GAIN SELECTION**

The AD620 gain is resistor-programmed by  $R_G$ , or more precisely, by whatever impedance appears between Pins 1 and 8. The AD620 is designed to offer accurate gains using 0.1% to 1% resistors. Table 5 shows required values of  $R_G$  for various gains. Note that for  $G = 1$ , the  $R_G$  pins are unconnected ( $R_G = \infty$ ). For any arbitrary gain,  $R_G$  can be calculated by using the formula:

$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G - 1}$$

To minimize gain error, avoid high parasitic resistance in series with  $R_G$ ; to minimize gain drift,  $R_G$  should have a low TC—less than 10 ppm/°C—for the best performance.

Table 5. Required Values of Gain Resistors

1% Std Table Value of $R_G(\Omega)$	Calculated Gain	0.1% Std Table Value of $R_G(\Omega)$	Calculated Gain
49.9 k	1.990	49.3 k	2.002
12.4 k	4.984	12.4 k	4.984
5.49 k	9.998	5.49 k	9.998
2.61 k	19.93	2.61 k	19.93
1.00 k	50.40	1.01 k	49.91
499	100.0	499	100.0
249	199.4	249	199.4
100	495.0	98.8	501.0
49.9	991.0	49.3	1,003.0

**INPUT AND OUTPUT OFFSET VOLTAGE**

The low errors of the AD620 are attributed to two sources, input and output errors. The output error is divided by  $G$  when referred to the input. In practice, the input errors dominate at high gains, and the output errors dominate at low gains. The total  $V_{OS}$  for a given gain is calculated as

$$Total\ Error\ RTI = input\ error + (output\ error/G)$$

$$Total\ Error\ RTO = (input\ error \times G) + output\ error$$

**REFERENCE TERMINAL**

The reference terminal potential defines the zero output voltage and is especially useful when the load does not share a precise ground with the rest of the system. It provides a direct means of injecting a precise offset to the output, with an allowable range of 2 V within the supply voltages. Parasitic resistance should be kept to a minimum for optimum CMR.

**INPUT PROTECTION**

The AD620 safely withstands an input current of ±60 mA for several hours at room temperature. This is true for all gains and power on and off, which is useful if the signal source and amplifier are powered separately. For longer time periods, the input current should not exceed 6 mA.

For input voltages beyond the supplies, a protection resistor should be placed in series with each input to limit the current to 6 mA. These can be the same resistors as those used in the RFI filter. High values of resistance can impact the noise and AC CMRR performance of the system. Low leakage diodes (such as the BAV199) can be placed at the inputs to reduce the required protection resistance.

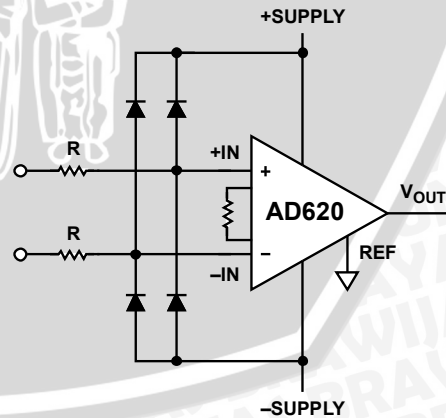


Figure 41. Diode Protection for Voltages Beyond Supply

**RF INTERFERENCE**

All instrumentation amplifiers rectify small out of band signals. The disturbance may appear as a small dc voltage offset. High frequency signals can be filtered with a low pass R-C network placed at the input of the instrumentation amplifier. Figure 42 demonstrates such a configuration. The filter limits the input



# AD620

signal according to the following relationship:

$$FilterFreq_{DIFF} = \frac{1}{2\pi R(2C_D + C_C)}$$

$$FilterFreq_{CM} = \frac{1}{2\pi RC_C}$$

where  $C_D \geq 10C_C$ .

$C_D$  affects the difference signal.  $C_C$  affects the common-mode signal. Any mismatch in  $R \times C_C$  degrades the AD620 CMRR. To avoid inadvertently reducing CMRR-bandwidth performance, make sure that  $C_C$  is at least one magnitude smaller than  $C_D$ . The effect of mismatched  $C_C$ s is reduced with a larger  $C_D:C_C$  ratio.

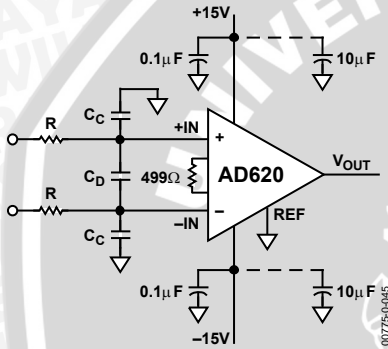


Figure 42. Circuit to Attenuate RF Interference

## COMMON-MODE REJECTION

Instrumentation amplifiers, such as the AD620, offer high CMR, which is a measure of the change in output voltage when both inputs are changed by equal amounts. These specifications are usually given for a full-range input voltage change and a specified source imbalance.

For optimal CMR, the reference terminal should be tied to a low impedance point, and differences in capacitance and resistance should be kept to a minimum between the two inputs. In many applications, shielded cables are used to minimize noise; for best CMR over frequency, the shield should be properly driven. Figure 43 and Figure 44 show active data guards that are configured to improve ac common-mode rejections by “bootstrapping” the capacitances of input cable shields, thus minimizing the capacitance mismatch between the inputs.

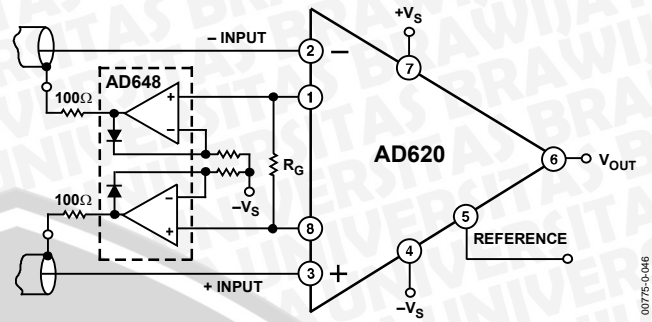


Figure 43. Differential Shield Driver

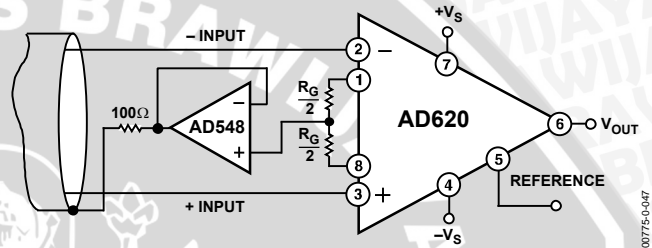


Figure 44. Common-Mode Shield Driver

## GROUNDING

Since the AD620 output voltage is developed with respect to the potential on the reference terminal, it can solve many grounding problems by simply tying the REF pin to the appropriate “local ground.”

To isolate low level analog signals from a noisy digital environment, many data-acquisition components have separate analog and digital ground pins (Figure 45). It would be convenient to use a single ground line; however, current through ground wires and PC runs of the circuit card can cause hundreds of millivolts of error. Therefore, separate ground returns should be provided to minimize the current flow from the sensitive points to the system ground. These ground returns must be tied together at some point, usually best at the ADC package shown in Figure 45.

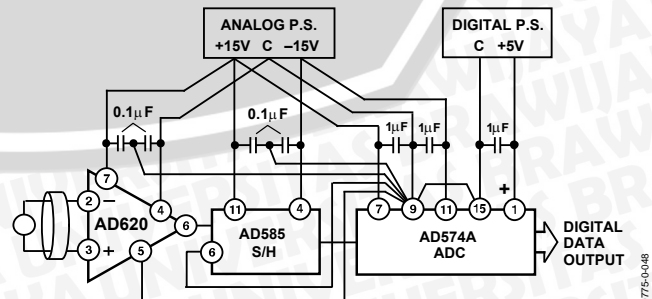


Figure 45. Basic Grounding Practice



**GROUND RETURNS FOR INPUT BIAS CURRENTS**

Input bias currents are those currents necessary to bias the input transistors of an amplifier. There must be a direct return path for these currents. Therefore, when amplifying “floating” input sources, such as transformers or ac-coupled sources, there must be a dc path from each input to ground, as shown in Figure 46, Figure 47, and Figure 48. Refer to *A Designer’s Guide to Instrumentation Amplifiers* (free from Analog Devices) for more information regarding in-amp applications.

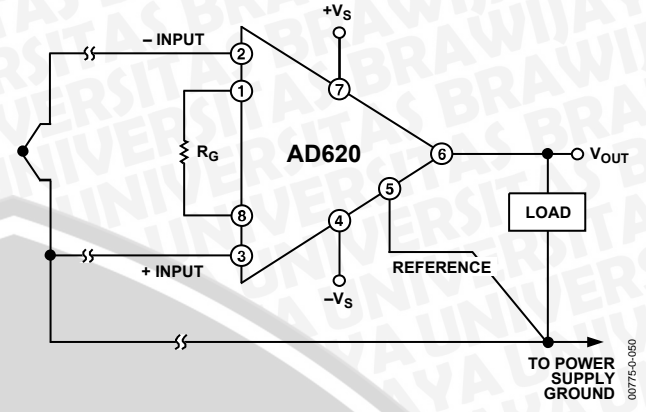


Figure 47. Ground Returns for Bias Currents with Thermocouple Inputs

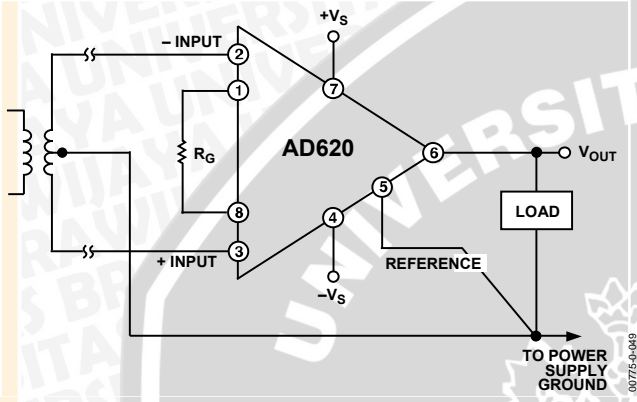


Figure 46. Ground Returns for Bias Currents with Transformer-Coupled Inputs

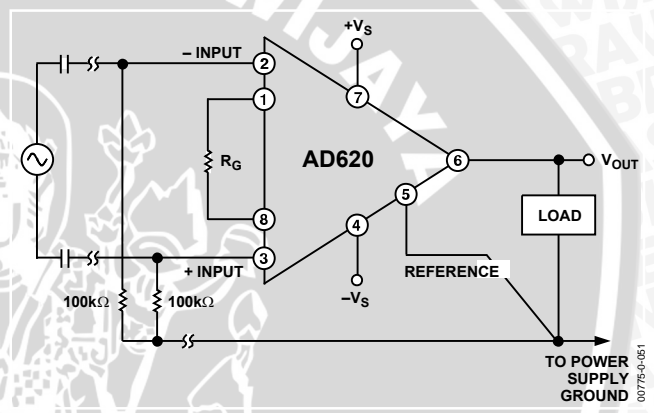


Figure 48. Ground Returns for Bias Currents with AC-Coupled Inputs

# AD620

## AD620ACHIPS INFORMATION

Die size: 1803  $\mu\text{m}$   $\times$  3175  $\mu\text{m}$

Die thickness: 483  $\mu\text{m}$

Bond Pad Metal: 1% Copper Doped Aluminum

To minimize gain errors introduced by the bond wires, use Kelvin connections between the chip and the gain resistor,  $R_G$ , by connecting Pad 1A and Pad 1B in parallel to one end of  $R_G$  and Pad 8A and Pad 8B in parallel to the other end of  $R_G$ . For unity gain applications where  $R_G$  is not required, Pad 1A and Pad 1B must be bonded together as well as the Pad 8A and Pad 8B.

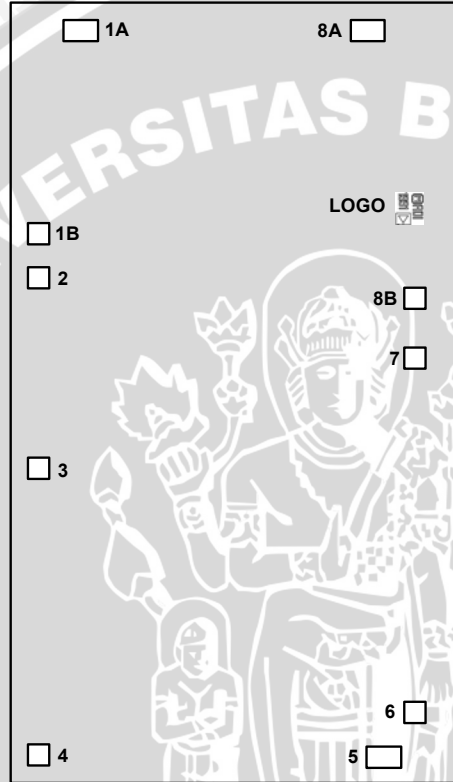


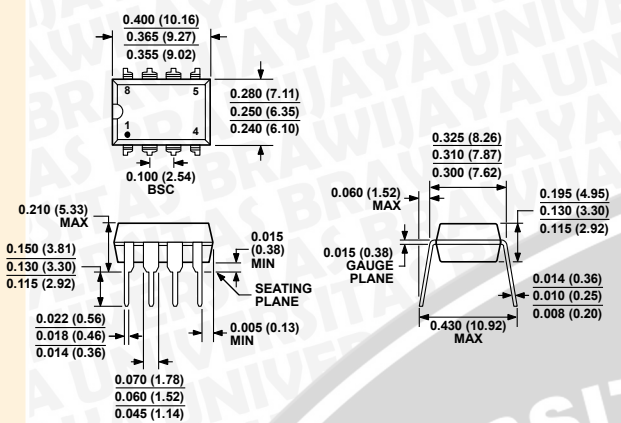
Figure 49. Bond Pad Diagram

Table 6. Bond Pad Information

Pad No.	Mnemonic	Pad Coordinates <sup>1</sup>	
		X ( $\mu\text{m}$ )	Y ( $\mu\text{m}$ )
1A	$R_G$	-623	+1424
1B	$R_G$	-789	+628
2	-IN	-790	+453
3	+IN	-790	-294
4	$-V_S$	-788	-1419
5	REF	+570	-1429
6	OUTPUT	+693	-1254
7	$+V_S$	+693	+139
8A	$R_G$	+505	+1423
8B	$R_G$	+693	+372

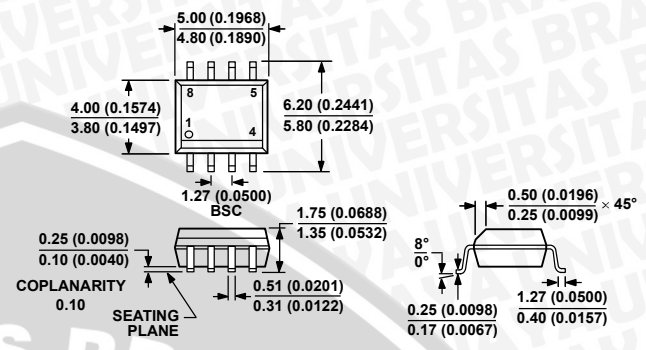
<sup>1</sup> The pad coordinates indicate the center of each pad, referenced to the center of the die. The die orientation is indicated by the logo, as shown in Figure 49.

# OUTLINE DIMENSIONS



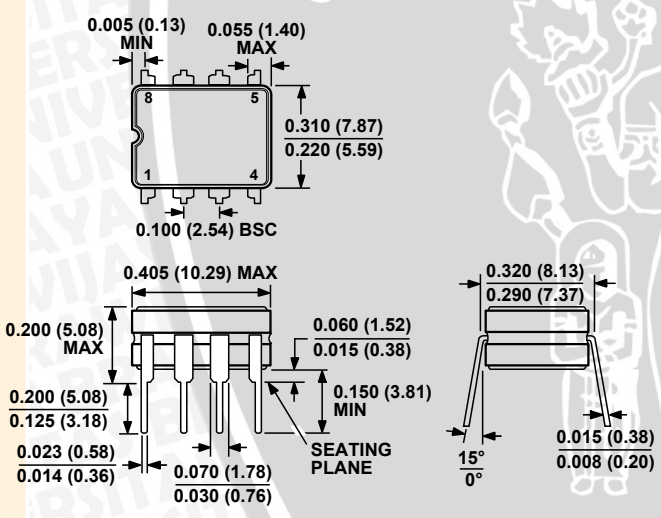
COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-001  
 CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF INCH EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN. CORNER LEADS MAY BE CONFIGURED AS WHOLE OR HALF LEADS.

Figure 50. 8-Lead Plastic Dual In-Line Package [PDIP] Narrow Body (N-8).  
 Dimensions shown in inches and (millimeters)



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-012-AA  
 CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS; INCH DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.

Figure 52. 8-Lead Standard Small Outline Package [SOIC\_N] Narrow Body (R-8).  
 Dimensions shown in millimeters and (inches)



CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF INCH EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.

Figure 51. 8-Lead Ceramic Dual In-Line Package [CERDIP] (Q-8).  
 Dimensions shown in inches and (millimeters)

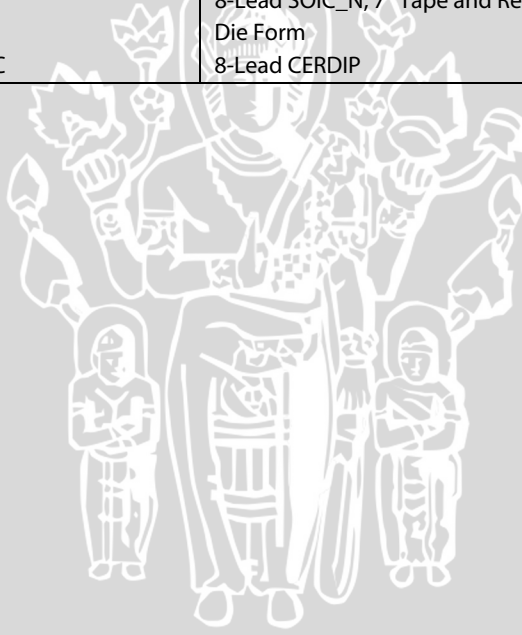


# AD620

## ORDERING GUIDE

Model <sup>1</sup>	Temperature Range	Package Description	Package Option
AD620AN	-40°C to +85°C	8-Lead PDIP	N-8
AD620ANZ	-40°C to +85°C	8-Lead PDIP	N-8
AD620BN	-40°C to +85°C	8-Lead PDIP	N-8
AD620BNZ	-40°C to +85°C	8-Lead PDIP	N-8
AD620AR	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N	R-8
AD620ARZ	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N	R-8
AD620AR-REEL	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N, 13" Tape and Reel	R-8
AD620ARZ-REEL	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N, 13" Tape and Reel	R-8
AD620AR-REEL7	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N, 7" Tape and Reel	R-8
AD620ARZ-REEL7	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N, 7" Tape and Reel	R-8
AD620BR	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N	R-8
AD620BRZ	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N	R-8
AD620BR-REEL	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N, 13" Tape and Reel	R-8
AD620BRZ-RL	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N, 13" Tape and Reel	R-8
AD620BR-REEL7	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N, 7" Tape and Reel	R-8
AD620BRZ-R7	-40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N, 7" Tape and Reel	R-8
AD620ACHIPS	-40°C to +85°C	Die Form	
AD620SQ/883B	-55°C to +125°C	8-Lead CERDIP	Q-8

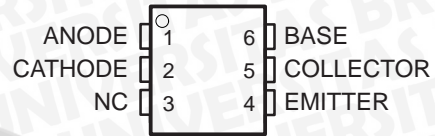
<sup>1</sup> Z = RoHS Compliant Part.



COMPATIBLE WITH STANDARD TTL INTEGRATED CIRCUITS

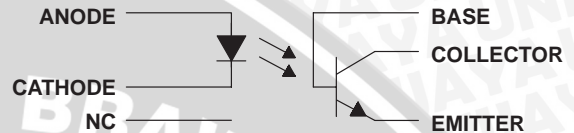
- Gallium-Arsenide-Diode Infrared Source  
Optically Coupled to a Silicon npn  
Phototransistor
- High Direct-Current Transfer Ratio
- High-Voltage Electrical Isolation  
1.5-kV, 2.5-kV, or 3.55-kV Rating
- High-Speed Switching  
 $t_r = 7 \mu s$ ,  $t_f = 7 \mu s$  Typical
- Typical Applications Include Remote  
Terminal Isolation, SCR and Triac Triggers,  
Mechanical Relays and Pulse Transformers
- Safety Regulatory Approval  
UL/CUL, File No. E65085

DCJT† OR 6-TERMINAL DUAL-IN-LINE PACKAGE  
(TOP VIEW)



†4N35 only  
NC – No internal connection

schematic



absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Input-to-output peak voltage (8-ms half sine wave):	4N35	3.55 kV
	4N36	2.5 kV
	4N37	1.5 kV
Input-to-output root-mean-square voltage (8-ms half sine wave):	4N35	2.5 kV
	4N36	1.75 kV
	4N37	1.05 kV
Collector-base voltage		70 V
Collector-emitter voltage (see Note 1)		30 V
Emitter-base voltage		7 V
Input-diode reverse voltage		6 V
Input-diode forward current:		
Continuous		60 mA
Peak (1 $\mu s$ , 300 pps)		3 A
Phototransistor continuous collector current		100 mA
Continuous total power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature:		
Infrared-emitting diode (see Note 2)		100 mW
Phototransistor (see Note 3)		300 mW
Continuous power dissipation at (or below) 25°C lead temperature:		
Infrared-emitting diode (see Note 4)		100 mW
Phototransistor (see Note 5)		500 mW
Operating temperature range, $T_A$		-55°C to 100°C
Storage temperature range, $T_{stg}$		-55°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds		260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these conditions is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
1. This value applies when the base-emitter diode is open-circuited.
  2. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 1.33 mW/°C.
  3. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4 mW/°C.
  4. Derate linearly to 100°C lead temperature at the rate of 1.33 mW/°C. Lead temperature is measured on the collector lead 0.8 mm (1/32 inch) from the case.
  5. Derate linearly to 100°C lead temperature at the rate of 6.7 mW/°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

# 4N35, 4N36, 4N37 OPTOCOUPERS

SOES021C – NOVEMBER 1981 – REVISED APRIL 1998

## electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{(BR)CBO}$	Collector-base breakdown voltage	$I_C = 100 \mu A, I_E = 0, I_F = 0$	70†			V
$V_{(BR)CEO}$	Collector-emitter breakdown voltage	$I_C = 10 mA, I_B = 0, I_F = 0$	30†			V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-base breakdown voltage	$I_E = 100 \mu A, I_C = 0, I_F = 0$	7†			V
$I_R$	Input diode static reverse current	$V_R = 6 V$			10†	$\mu A$
$I_{IO}$	Input-to-output current	$V_{IO} = \text{rated peak value}, t = 8 ms$			100	mA
$I_{C(on)}$	On-state collector current	$V_{CE} = 10 V, I_F = 10 mA, I_B = 0$	10†			mA
		$V_{CE} = 10 V, I_F = 10 mA, I_B = 0, T_A = -55^\circ C$	4†			
		$V_{CE} = 10 V, I_F = 10 mA, I_B = 0, T_A = 100^\circ C$	4†			
$I_{C(off)}$	Off-state collector current	$V_{CE} = 10 V, I_F = 0, I_B = 0$		1	50	nA
		$V_{CE} = 30 V, I_F = 0, I_B = 0, T_A = 100^\circ C$			500†	$\mu A$
$h_{FE}$	Transistor static forward current transfer ratio	$V_{CE} = 5 V, I_C = 10 mA, I_F = 0$		500		
$V_F$	Input diode static forward voltage	$I_F = 10 mA$	0.8†		1.5†	V
		$I_F = 10 mA, T_A = -55^\circ C$	0.9†		1.7†	
		$I_F = 10 mA, T_A = 100^\circ C$	0.7†		1.4†	
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter saturation voltage	$I_C = 0.5 mA, I_F = 10 mA, I_B = 0 mA$			0.3†	V
$r_{IO}$	Input-to-output internal resistance	$V_{IO} = 500 V, \text{ See Note 6}$	10 <sup>11</sup> †			$\Omega$
$C_{io}$	Input-to-output capacitance	$V_{IO} = 0, f = 1 MHz, \text{ See Note 6}$		1	2.5†	pF

† JEDEC registered data

NOTE 6: These parameters are measured between both input-diode leads shorted together and all the phototransistor leads shorted together.

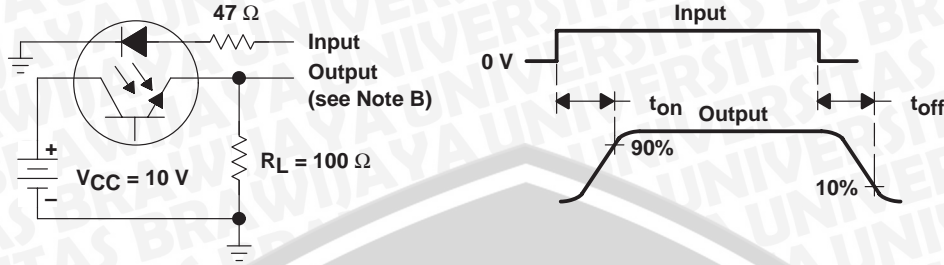
## switching characteristics at 25°C free-air temperature†

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$t_{on}$	Time-on time	$V_{CC} = 10 V, I_{C(on)} = 2 mA, R_L = 100 \Omega, \text{ See Figure 1}$		7	10	$\mu s$
$t_{off}$	Turn-off time			7	10	

† JEDEC registered data



PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT

VOLTAGE WAVEFORMS

- NOTES: A. The input waveform is supplied by a generator with the following characteristics:  $Z_O = 50 \Omega$ ,  $t_r \leq 15 \text{ ns}$ , duty cycle  $\approx 1\%$ ,  $t_W = 100 \mu\text{s}$ .  
 B. The output waveform is monitored on an oscilloscope with the following characteristics:  $t_r \leq 12 \text{ ns}$ ,  $R_{in} \geq 1 \text{ M}\Omega$ ,  $C_{in} \leq 20 \text{ pF}$ .

Figure 1. Switching Times

TYPICAL CHARACTERISTICS

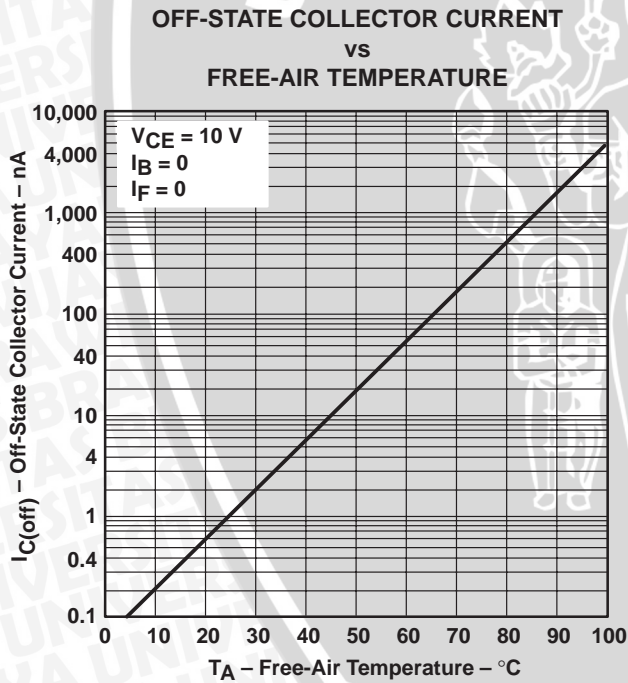


Figure 2

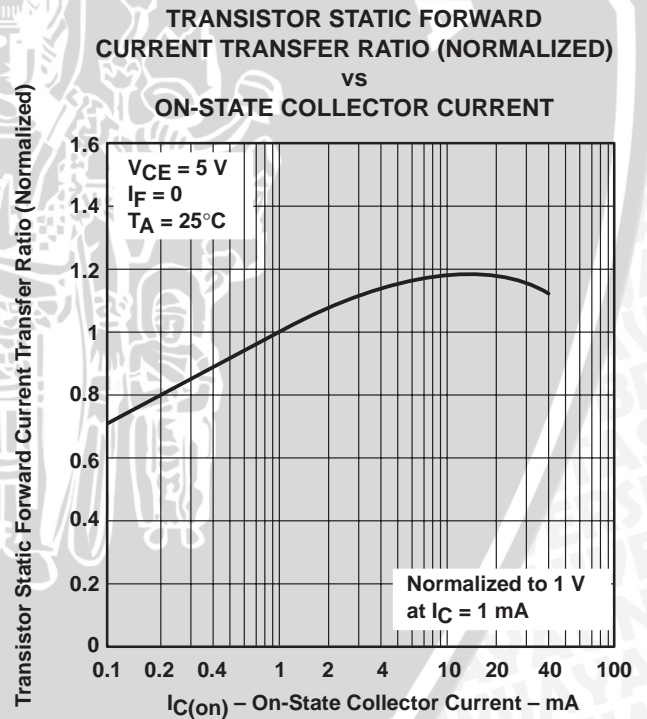


Figure 3

# 4N35, 4N36, 4N37 OPTOCOUPLERS

SOES021C – NOVEMBER 1981 – REVISED APRIL 1998

## TYPICAL CHARACTERISTICS

**COLLECTOR CURRENT  
vs  
MODULATION FREQUENCY**

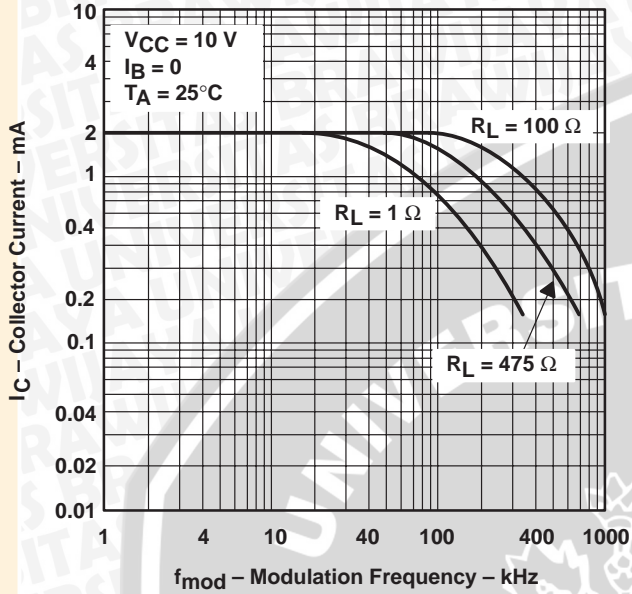


Figure 4

**INPUT-DIODE FORWARD  
CONDUCTION CHARACTERISTICS**

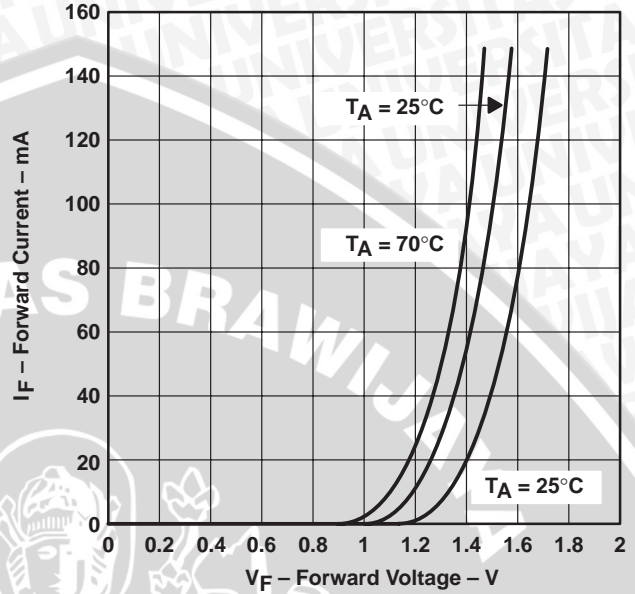


Figure 5

**COLLECTOR CURRENT  
vs  
INPUT-DIODE FORWARD CURRENT**

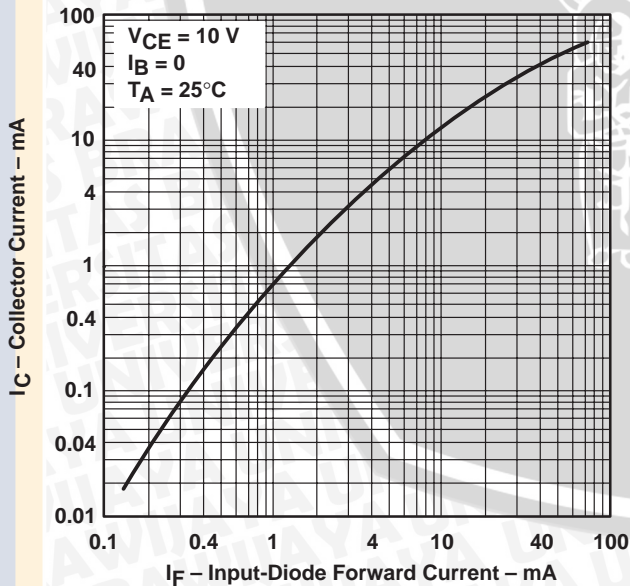


Figure 6

**COLLECTOR CURRENT  
vs  
COLLECTOR-EMITTER VOLTAGE**

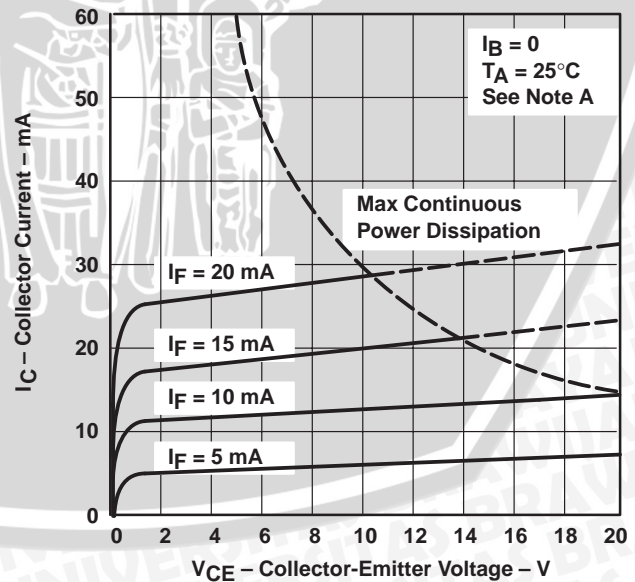
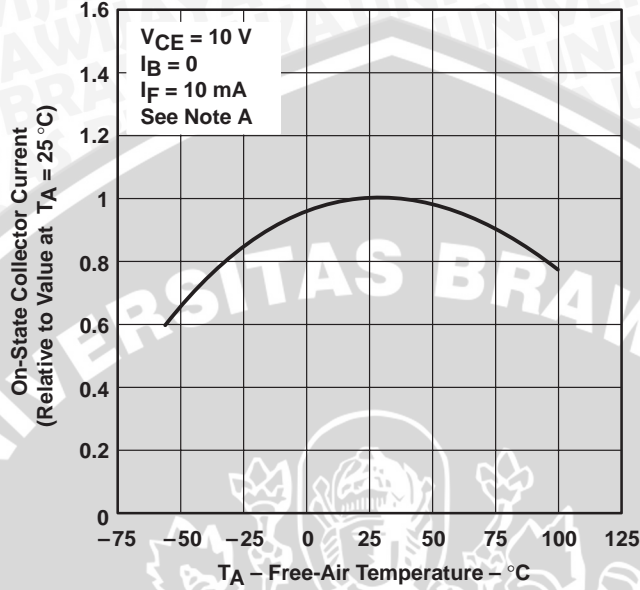


Figure 7

NOTE A. Pulse operation of input diode is required for operation beyond limits shown by dotted lines.

TYPICAL CHARACTERISTICS

ON-STATE COLLECTOR CURRENT  
(RELATIVE TO VALUE AT 25°C)  
vs  
FREE-AIR TEMPERATURE



NOTE A. These parameters were measured using pulse techniques,  $t_w = 1\text{ ms}$ , duty cycle  $\leq 2\%$ .

Figure 8

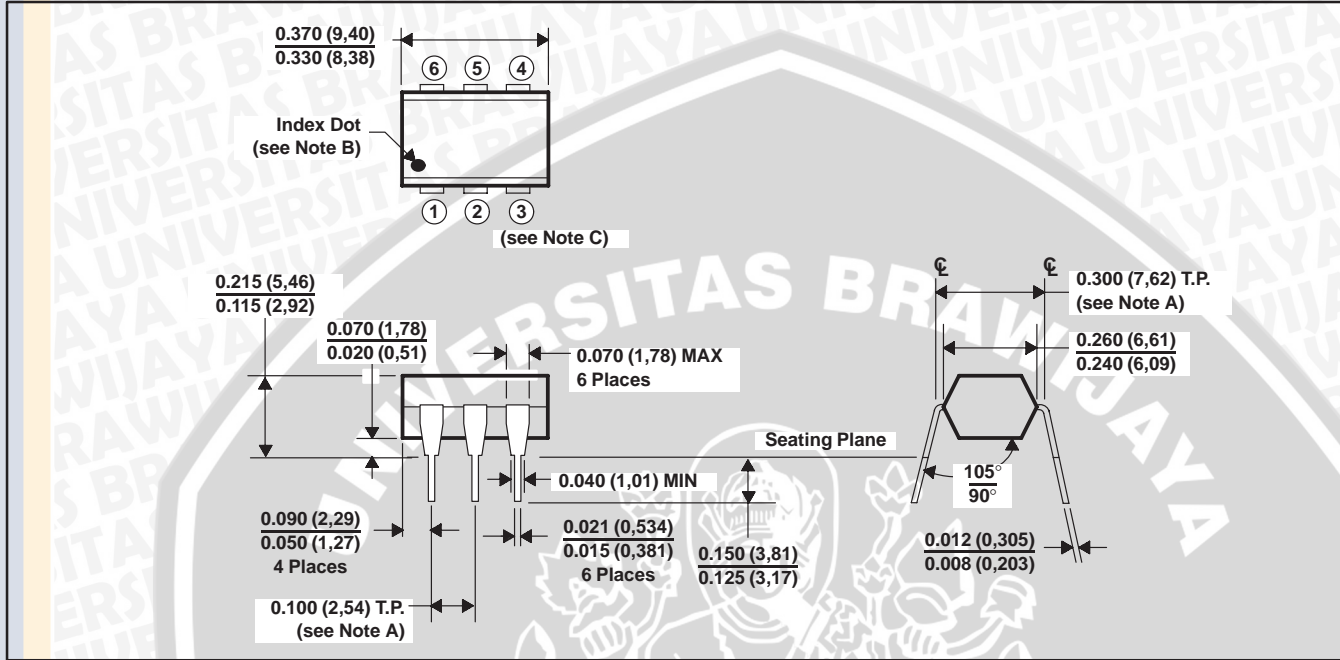


# 4N35, 4N36, 4N37 OPTOCOUPERS

SOES021C – NOVEMBER 1981 – REVISED APRIL 1998

## APPLICATION INFORMATION

The devices consist of a gallium-arsenide infrared-emitting diode and an npn silicon phototransistor. Each device is available in a 6-terminal plastic dual-in-line package, shown in Figure 9, or in a DCJ plastic dual surface-mount optocoupler package (see Mechanical Data).



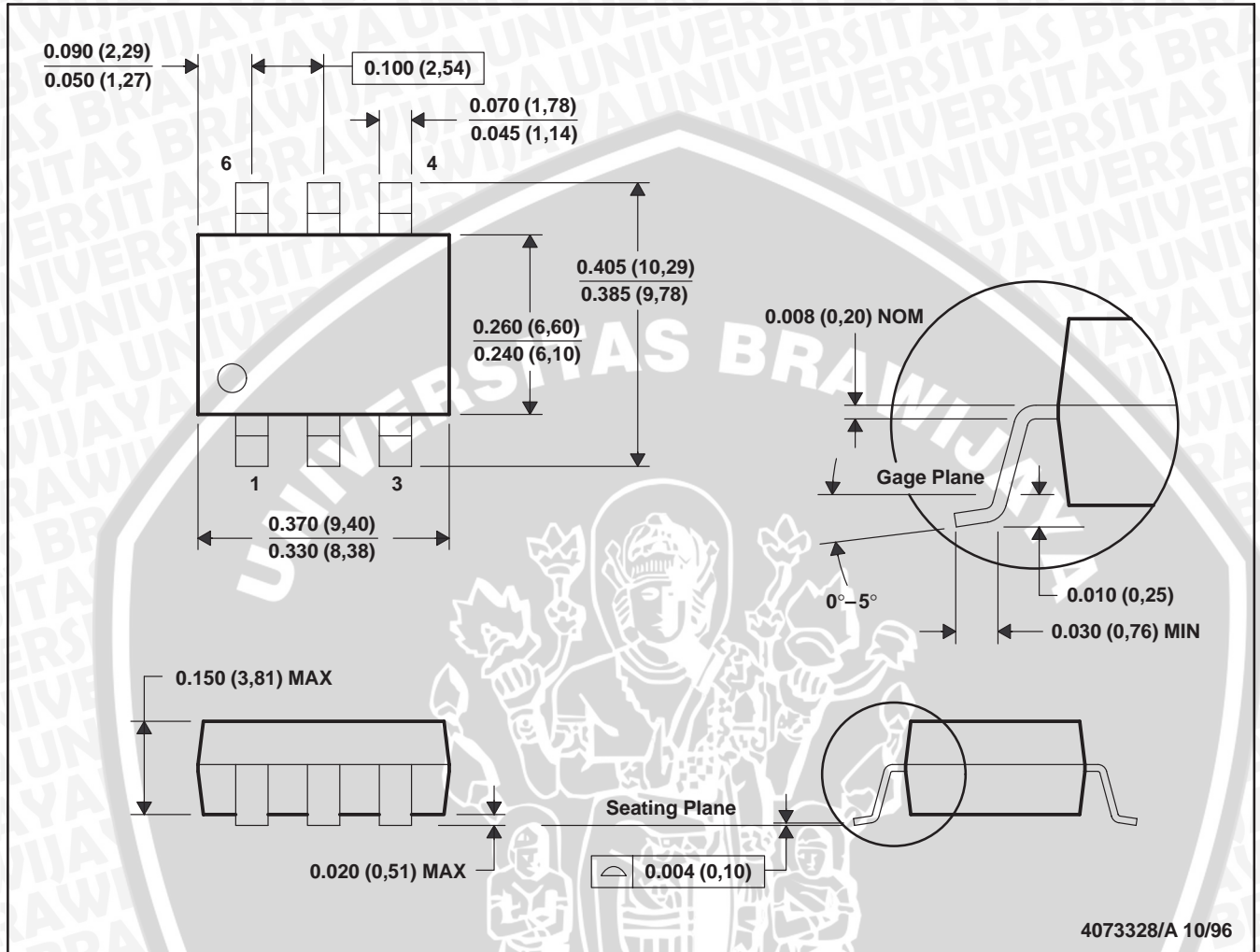
- NOTES: A. Terminals are within 0.005 (0,13) radius of true position (T.P.) with maximum material condition and unit installed.  
 B. Terminal 1 identified by index dot.  
 C. The dimensions given fall within JEDEC MO-001 AM dimensions.  
 D. All linear dimensions are in inches (millimeters).

**Figure 9. Plastic Dual-in-Line Package**

MECHANICAL DATA

DCJ (R-PDSO-G6)

PLASTIC DUAL SMALL-OUTLINE OPTOCOUPLER



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Terminal 1 identified by index dot.

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments (TI) reserves the right to make changes to its products or to discontinue any semiconductor product or service without notice, and advises its customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that the information being relied on is current and complete.

TI warrants performance of its semiconductor products and related software to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

Certain applications using semiconductor products may involve potential risks of death, personal injury, or severe property or environmental damage ("Critical Applications").

TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, INTENDED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT APPLICATIONS, DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS.

Inclusion of TI products in such applications is understood to be fully at the risk of the customer. Use of TI products in such applications requires the written approval of an appropriate TI officer. Questions concerning potential risk applications should be directed to TI through a local SC sales office.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards should be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or services described herein. Nor does TI warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used.

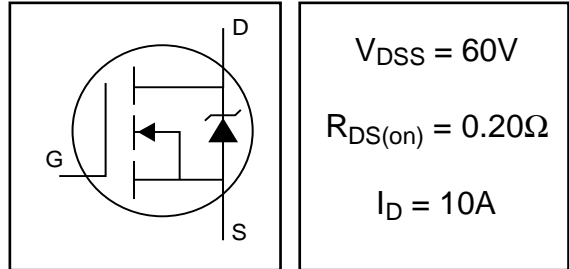
Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated



# IRLZ14S/L

HEXFET<sup>®</sup> Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Surface Mount (IRLZ14S)
- Low-profile through-hole (IRLZ14L)
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching

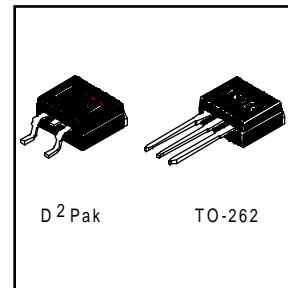


## Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The D<sup>2</sup>Pak is a surface mount power package capable of accommodating die sizes up to HEX-4. It provides the highest power capability and the lowest possible on-resistance in any existing surface mount package. The D<sup>2</sup>Pak is suitable for high current applications because of its low internal connection resistance and can dissipate up to 2.0W in a typical surface mount application.

The through-hole version (IRLZ14L) is available for low-profile applications.



## Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}^{\textcircled{5}}$	10	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}^{\textcircled{5}}$	7.2	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current $\textcircled{1} \textcircled{5}$	40	
$P_D @ T_A = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	3.7	W
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	43	W
	Linear Derating Factor	0.29	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 10$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy $\textcircled{2} \textcircled{5}$	68	mJ
$dv/dt$	Peak Diode Recovery $dv/dt$ $\textcircled{3} \textcircled{5}$	4.5	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case )	

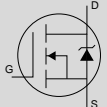
## Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	3.5	°C/W
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient ( PCB Mounted,steady-state)**	—	40	

## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	60	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.07	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$ ⑤
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.2	$\Omega$	$V_{GS} = 5.0V, I_D = 6.0A$ ④
		—	—	0.28		$V_{GS} = 4.0V, I_D = 5.0A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	1.0	—	2.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	3.5	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 6.0A$ ⑤
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 60V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 48V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 10V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -10V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	8.4	nC	$I_D = 10A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	3.5		$V_{DS} = 48V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	6.0		$V_{GS} = 5.0V$ , See Fig. 6 and 13 ④⑤
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	9.3	—	$\mu s$	$V_{DD} = 30V$
$t_r$	Rise Time	—	110	—		$I_D = 10A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	17	—		$R_G = 12\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	26	—		$R_D = 2.8\Omega$ , See Fig. 10 ④⑤
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	Between lead, and center of die contact
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	400	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	170	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	42	—		$f = 1.0MHz$ , See Fig. 5⑤

## Source-Drain Ratings and Characteristics

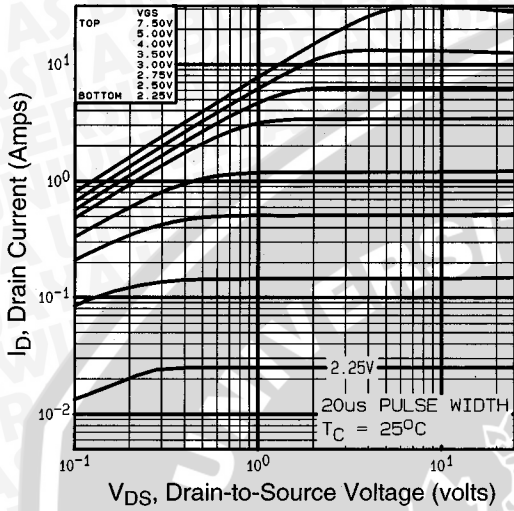
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	10	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	40		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.6	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 10A, V_{GS} = 0V$ ④
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	93	130	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 10A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	340	650	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④⑤
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$ )				

### Notes:

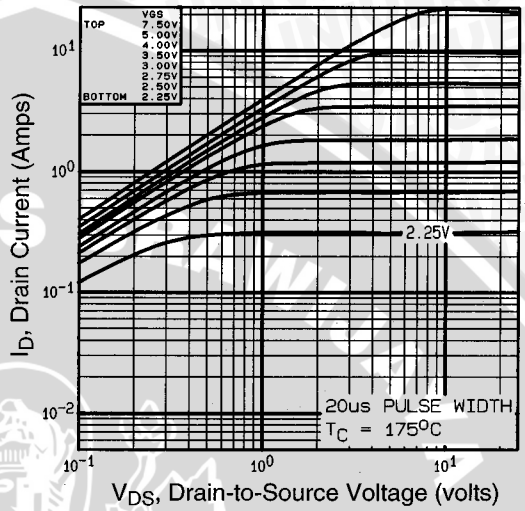
- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )
- ②  $V_{DD} = 25V$ , starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 790\mu H$ ,  $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = 10A$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq 10A$ ,  $di/dt \leq 90A/\mu s$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  $T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .
- ⑤ Uses IRLZ14 data and test conditions

\*\* When mounted on 1" square PCB (FR-4 or G-10 Material ).

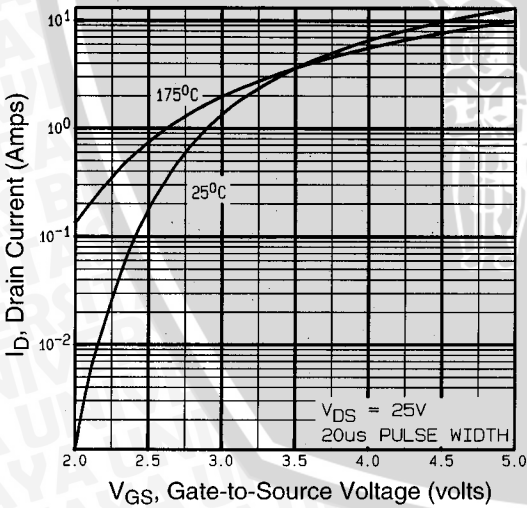
For recommended footprint and soldering techniques refer to application note #AN-994.



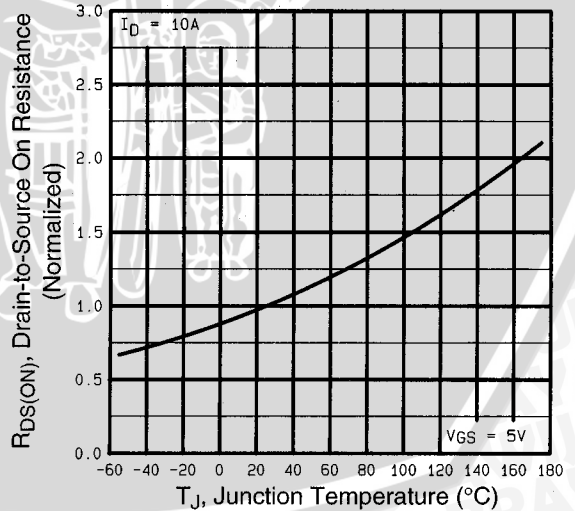
**Fig 1.** Typical Output Characteristics,



**Fig 2.** Typical Output Characteristics,

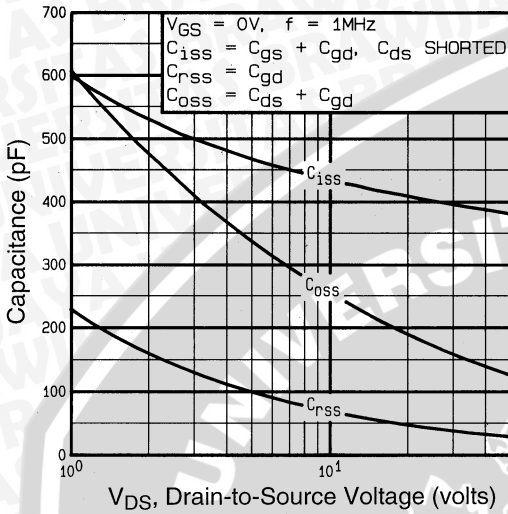


**Fig 3.** Typical Transfer Characteristics

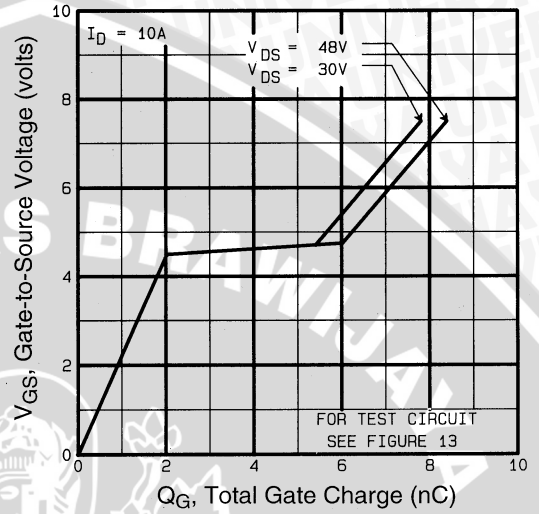


**Fig 4.** Normalized On-Resistance Vs. Temperature

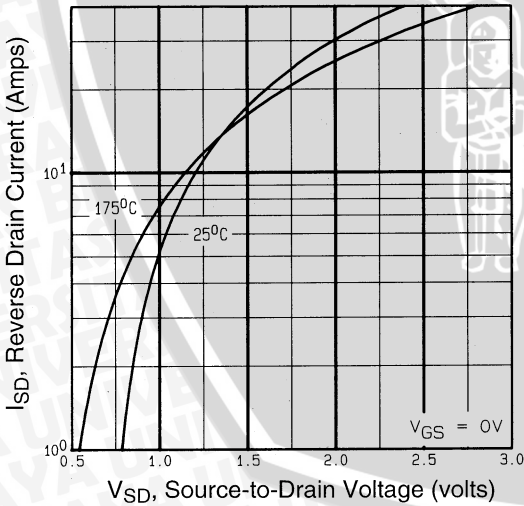




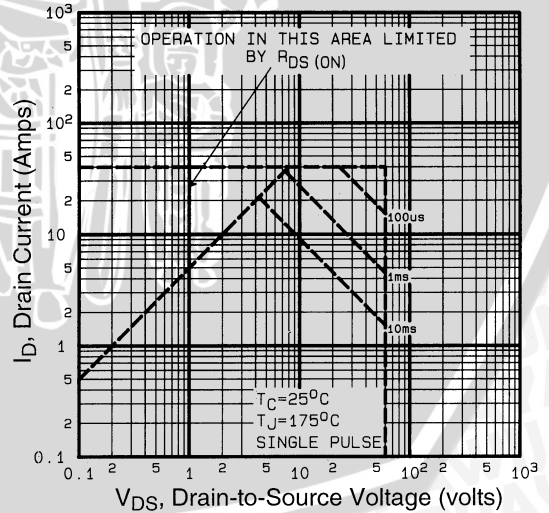
**Fig 5.** Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage



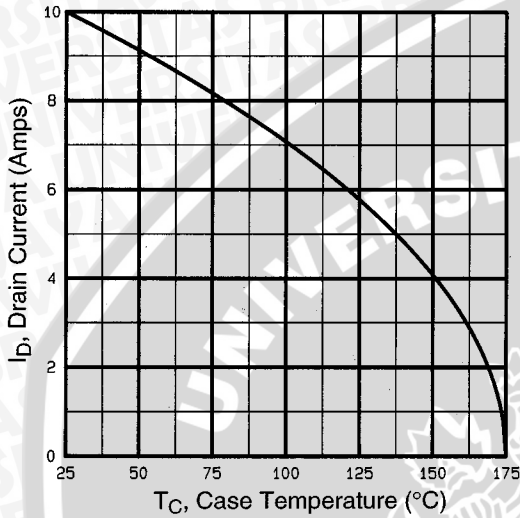
**Fig 6.** Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage



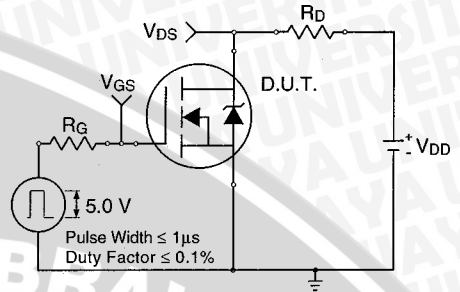
**Fig 7.** Typical Source-Drain Diode Forward Voltage



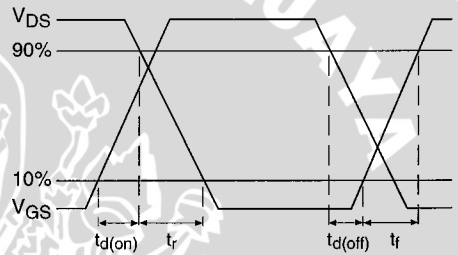
**Fig 8.** Maximum Safe Operating Area



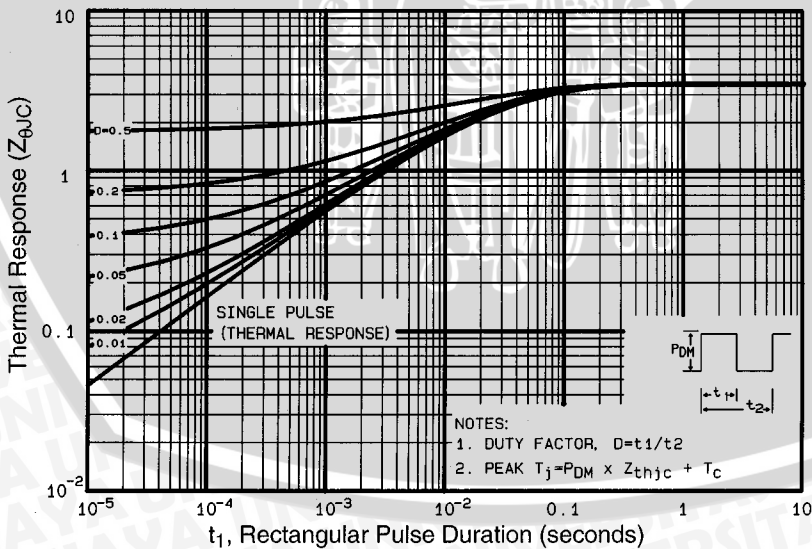
**Fig 9.** Maximum Drain Current Vs. Case Temperature



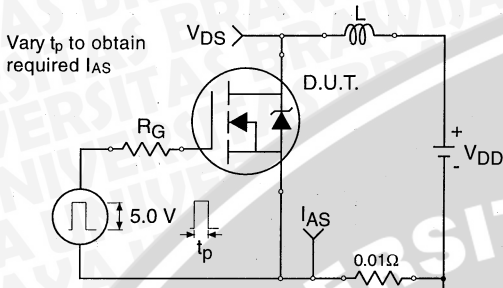
**Fig 10a.** Switching Time Test Circuit



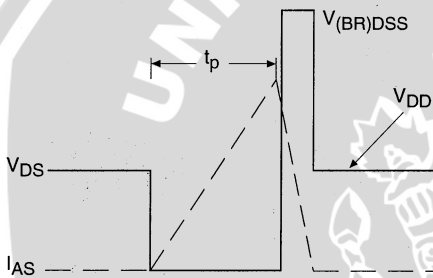
**Fig 10b.** Switching Time Waveforms



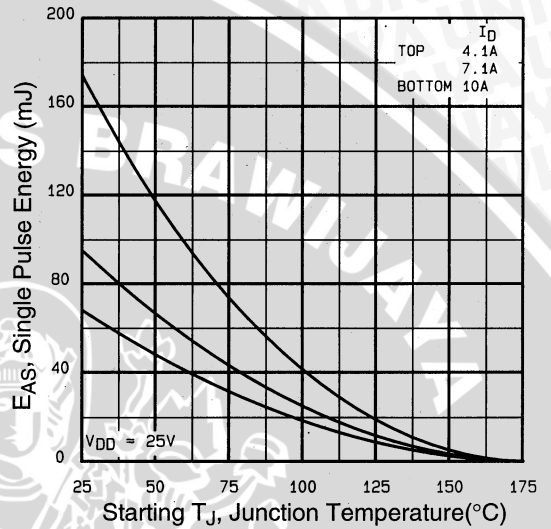
**Fig 11.** Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case



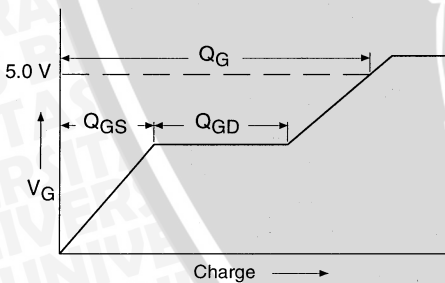
**Fig 12a.** Unclamped Inductive Test Circuit



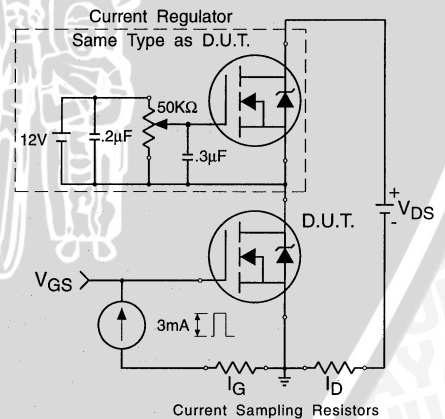
**Fig 12b.** Unclamped Inductive Waveforms



**Fig 12c.** Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current



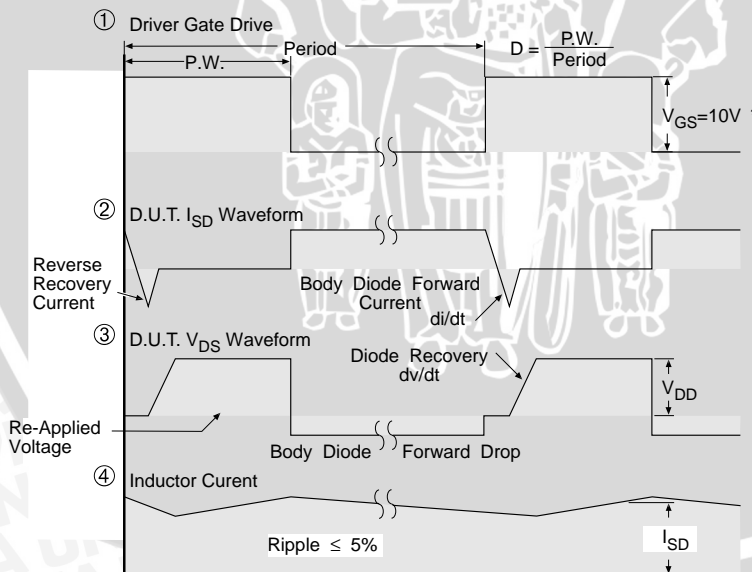
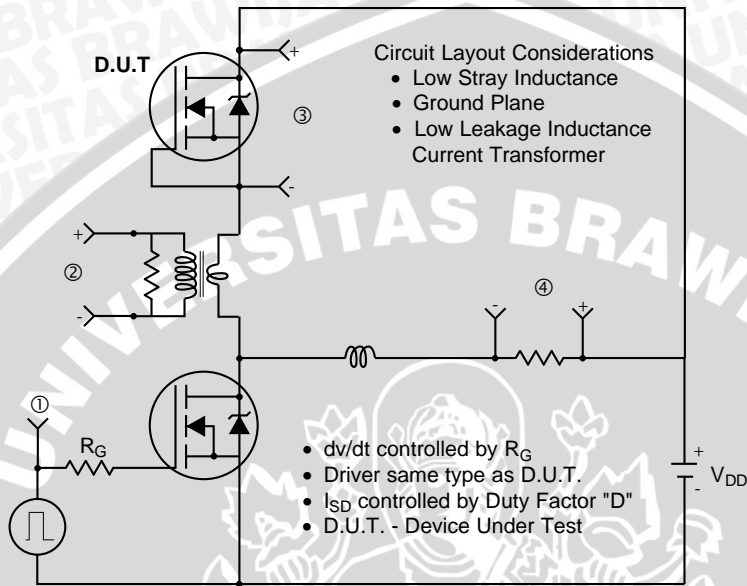
**Fig 13a.** Basic Gate Charge Waveform



**Fig 13b.** Gate Charge Test Circuit



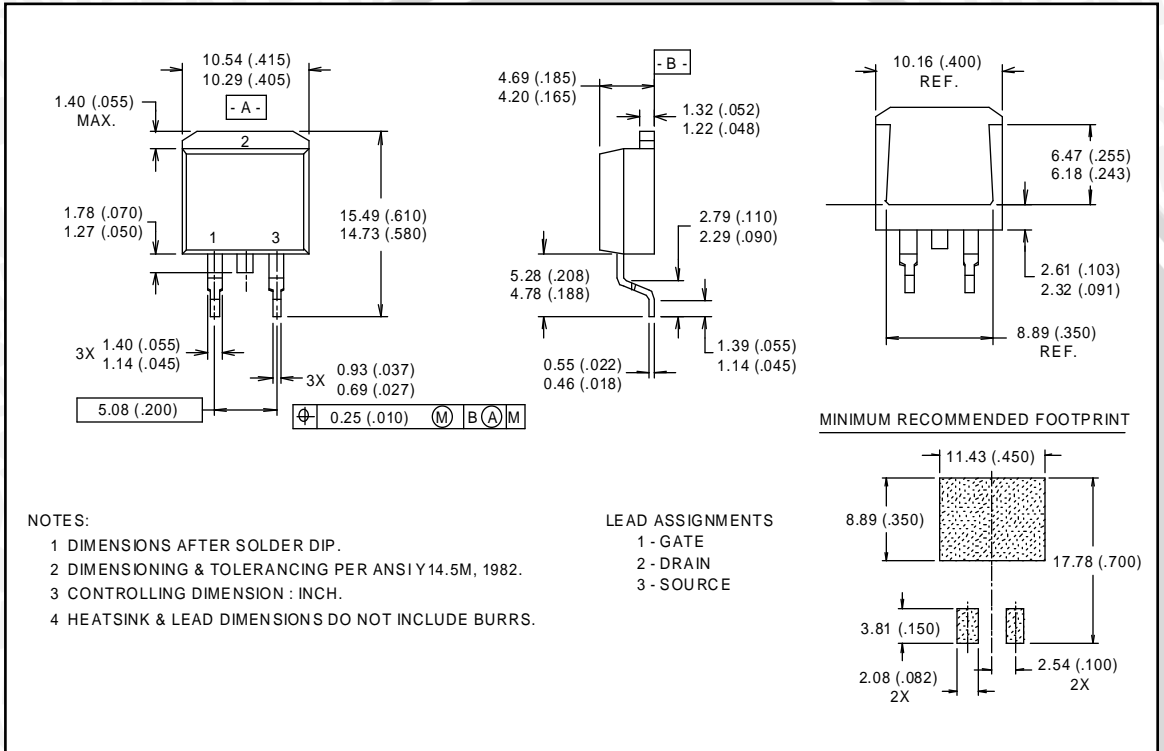
**Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit**



\*  $V_{GS} = 5V$  for Logic Level Devices

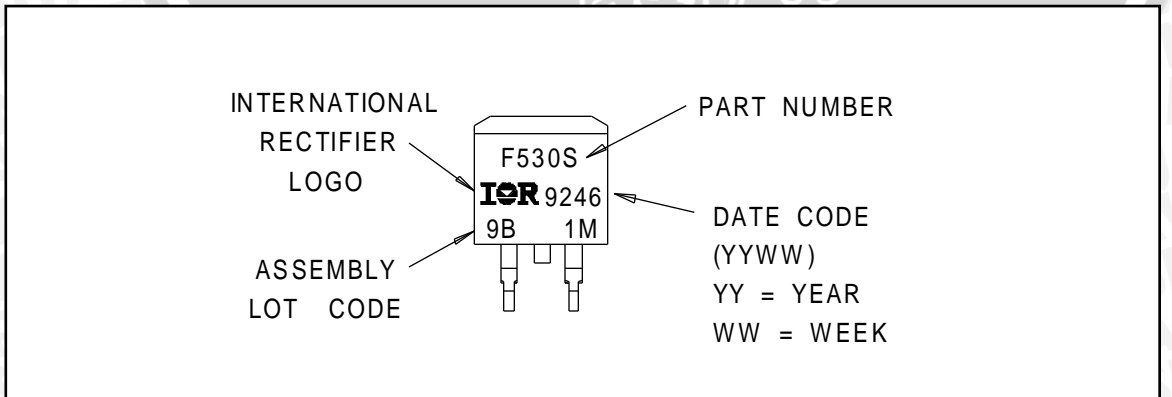
**Fig 14.** For N-Channel HEXFETS

## D<sup>2</sup>Pak Package Outline



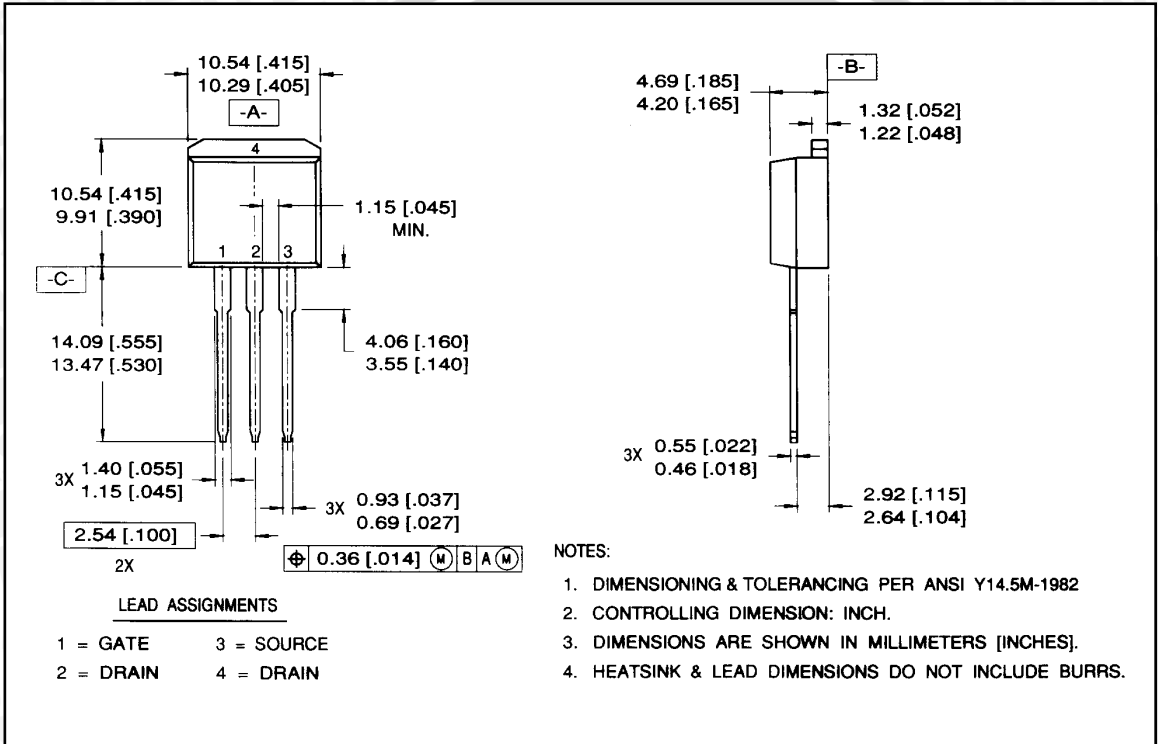
## Part Marking Information

### D<sup>2</sup>Pak



Package Outline

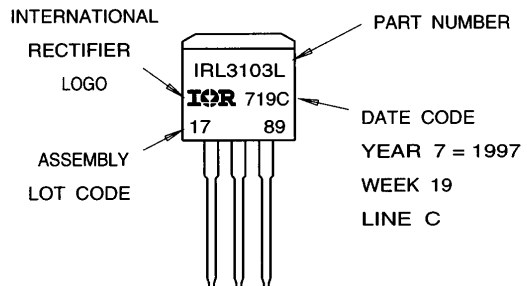
TO-262 Outline



Part Marking Information

TO-262

EXAMPLE: THIS IS AN IRL3103L  
 LOT CODE 1789  
 ASSEMBLED ON WW 19, 1997  
 IN THE ASSEMBLY LINE "C"





## Tape & Reel Information

D<sup>2</sup>Pak

