

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM STUDI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGUKUR
TORSI MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN
PERSONAL COMPUTER**

SKRIPSI



**Disusun Oleh :
DESYE MIFTAKHUL IKHWAN
01.12.178 / P**

APRIL 2005

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGUKUR
TORSI MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN
PERSONAL COMPUTER**

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*


Disusun Oleh :
DESYE MIFTAKHUL IKHWAN
01.12.178 / P

Diperiksa dan Disetujui




Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro


Ir. F. Yudi Limprapono, MT
NIP.Y. 1039500274

Diperiksa dan Disetujui,
Dosen Pembimbing


Ir. Widodo Pudji M, MT
NIP.Y. 1028700171

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Sembah Sujudku dan Syukurku padamu Ya... ALLOH S.W.T. Ilahi Robbi

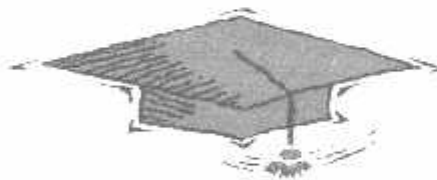
Yang memberi anugrah serta hidayah-Mu, serta teladanku Nabi

Mahammad S.A.W

- ✦ Buat Bapak dan Ibundaku yang memberi kasih sayang, bimbingan dan do'a yang tiada hentinya karena jasa dan pengorbananmu yang tulus dan ikhlas anakmu kini berhasil meraih gelar Sarjana Teknik, hanya do'a yang bisa kupanjatkan ke hadirat illahi buat engkau sebagai terima kasihku kepadamu. Ibunda... pengorbanan dan perjuanganmu sungguh berat, engkau menyimpan surga ditelapak kakimu namun itu tak menjadikan kebanggaan dan kekuasaan atasmu melainkan diwujudkan menjadi kasih sayang yang tak terhingga, kelapangan hati dan persediaan maaf yang tak akan pernah habis. Ibunda... rintihan doa'mu disertai dengan tetesan air mata di kegelapan dan kesunyian malam senantiasa engkau panjatkan kehadiran illahi demi keberhasilan anakmu. Ibunda... engkau laksana busur bagi anak panah keberhasilan hidupku, engkau tersenyum dan menitikkan air mata kebahagiaan dikala anakmu meraih kesuksesan dan engkau menitikkan air mata kepahitan dikala anakmu durhaka kepadamu.
- ✦ Terima kasihku pada Bapak Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT atas bimbingan dan Ilmu yang diberikan pada saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Beliau banyak meluangkan waktu untuk membimbingku.
- ✦ Terima kasihku pada pamanku (Lek Im) & Lek UT yang berada di Ibu Kota (Jakarta) Lek Heru di kota patria (Blitar) yang telah banyak memberikan fasilitas padaku, Semoga Allah membalas kebaikan dan melapangkan rizki
- ✦ Makasih pada adik-adikku yang memberikan motifasi dan Do'a untuk spirit terus menyelesaikan skripsi ini.
- ✦ Makasih untuk semua keluarga dan famili yang tidak cukup bila disebutkan satu persatu atas Do'anya dan motifasinya.
- ✦ Makasih buat Teman-teman Laboratorium Konversi dan khususnya pada Mas Rahmadi Setiawan yang banyak memberikan motifasi & masukan untuk skripsi ini.
- ✦ Makasih pada Keluarga Besar Tarung Derajat AA BOXER, Sat Lat ITN, Satlat UNM, dan Sat Lat KNPI semangat berlatih yang Disiplin tak kenal lelah dan putus asa. Khusus untuk Arif Darmansyah (98) kalau udah latihan jangan lupa kerjakan Skripsi ayo... tunjukkan bahwa kamu adalah PETARUNG sejati. Moga2 semester depan udah kelar Skripsi.

*"AKU RAMAH BUKAN BERARTI TAKUT
AKU TUNDUK BUKAN BERARTI TAKLUK"*

- ✦ Makasih pada seluruh Relasi Bisnisku terutama ayam lalapan Cak IruI-Mbak Wati Indomart, cak udin STAIN, lalapan kerto, Warung bengi MAMIYO, mbak Eli Es sumbersari III, cak To lalapan pos, Cak Kus lalapan Muhajirin, Mas Toni lalapan Pajajaran, Warung Nikmat, Dan Konco2 Ne . Tanpa kalian semua aku tak akan dapat menyelesaikan skripsi ini kalian adalah "Donaturku".
- ✦ Makasih buat Mas Jayeng dan Ibu Puji yang dengan sabar mengatur jadwal dari seminar proposal sampai ujian kompre dan ngechek nilai dengan sabar.
- ✦ Makasih pada Kos-kosan Bend. Sigura-gura 3 D, Bend. Sigura-gura 15, Kontrakan Berlian 17, Kos-kosan Kerto Raharjo Dalam 17 & yang terakhir Kerto Pamuji 56. Khusus untuk Pak Bani makasih pak sampean rela kamar kos tak pakai untuk stok barang Bisnisanku.
- ✦ Makasih untuk Maedy My Best Friend yang rela begadang untuk kerjakan PCB tapi sorry Med PCB nya ga dipakai. Gita, Ingestyo, Nur rohman, Joko, Vidya, Maman, Dwi Widyowati, Feryk, Tamrin serta konco-konco seperjuangan akhirnya kita Wisuda sama-sama.
- ✦ Makasih pada Mas Tamrin, ST (Pengusaha sukses) yang memberi tahu aku tentang jalan untuk berwira usaha dan pinjaman modalnya. Hutangku wis lunas lho mas.
- ✦ Makasih Buat anak-anak SUDRA CLUB Moko, Andre, Wawan, Dito, Hery, Epy, Krismanto, Ubab, Helmi, Justo, Karim, Hamzah, Khilman, Tomy atas dorongan semangat serta Do'a nya.
- ✦ Makasih pada Morodadi Plastik, Surya Mandiri dan Eka Jaya yang selalu menyediakan barang bisnisku.
- ✦ Makasih untuk teman-teman kosku Edy Joko, U UL dan Hanif atas do'a dan semangat perjuangan untuk menyelesaikan skripsi ini.
- ✦ Dan semua pihak yang terlibat langsung maupun tidak langsung yang tidak mungkin aku sebutkan satu persatu TERIMA KASIH semuanya



Created By:
MIFTAH
CAH GADON TUBAN

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah S.W.T. karena atas segala berkah dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi yang diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Program Studi Energi Listrik Institut Teknologi Nasional Malang.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung dari persiapan hingga selesainya Skripsi ini.

1. Bapak Dr. Ir Abraham Lommi, MSEE selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang
3. Bapak Ir.F. Yudi Limpraptono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang
4. Bapak Ir.Widodo Pudji Muljanto, MT selaku Dosen Pembimbing dalam pembuatan alat serta arahan dalam pembuatan laporan hingga selesai.
5. Bapak dan Ibu sebagai orang tuaku yang telah memberikan segalanya, baik berupa materi maupun non materi.
6. Seluruh staf pengajar dan karyawan Program Studi Teknik Elektro Energi Listrik S-1 ITN Malang.
7. Seluruh rekan-rekan satu jurusan Teknik Elektro Energi Listrik S-1.

8. Semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesainya Skripsi ini.

Penulis menyadari segala kekurangan yang ada pada penyusunan Skripsi ini. Oleh sebab itu penulis mengharapkan segala kritik dan saran demi kesempurnaan Skripsi ini. Semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan semua pihak yang memerlukan.

Malang, Maret 2005

Penyusun

ABSTRAKSI

STUDI APLIKASI “STRAIN GAGES” SEBAGAI PENGUKUR TORSI MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN PERSONAL COMPUTER

Desye Miftakhul Ikhwan, 01.12.178/P, Jurusan Teknik Elektro/Teknik Energi Listrik S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang, 2005, Dosen Pembimbing Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.

Kata Kunci: *Strain Gages, Torsi Motor Induksi, Labjack, Labview*

Dalam skripsi ini membahas masalah pengukuran torsi motor induksi tiga fasa. Untuk proses pengukuran tekanan digunakan strain gages yang bekerja jika elemen ini diregangkan akibat adanya pergeseran. Dimana hasil dari pengukuran torsi motor induksi dapat ditampilkan pada tampilan seven segment sekaligus pada personal computer. Dengan menggunakan modul DAQ interface pada personal computer dapat dilakukan dengan mudah.

Tampilan data pengukuran torsi motor induksi tiga fasa pada personal computer dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman yang berbasis grafis programming yaitu dengan bahasa pemrograman *Labview versi 7.1*. Tampilan hasil pengukuran dapat berupa nilai dan grafik, sehingga sangat membantu untuk keperluan analisa data. Dengan bahasa pemrograman *labview* ini juga dapat dilakukan analisa data gelombang transient.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAKSI	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi penelitian	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Motor Induksi Tiga Fasa	5
2.1.1 Pengertian Umum	5
2.1.2 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa	6
2.2 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa	8
2.2.1 Rangkaian Stator Motor Induksi	8

2.2.2	Rangkaian Rotor Motor Induksi	9
2.2.3	Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi	10
2.3	Torsi	13
2.4	Strain Gages	14
2.4.1	Prinsip Strain Gages	15
2.4.2	Strain Gages dan Aplikasinya	17
2.5	Operational Amplifier	18
2.5.1	Inverting Amplifier	19
2.5.2	Non Inverting Amplifier	22
2.6	IC LM 741	24
2.6.1	Karakteristik dan Parameter Op-Amp	25
2.7	Modul Data Akuisisi	29
2.7.1	Labjack	29
2.7.2	Instalasi	29
2.7.3	Bentuk Fisik DAQ board	30
2.7.4	Pengoperasian Labjack	33
2.7.5	Driver	34
2.8	Labview	38
BAB III PERANCANGAN ALAT		39
3.1	Rangkaian Pengkondisi Sinyal	39
3.2	Rangkaian Penguat OP-Amp	41
3.3	Display seven segment	43
3.4	Interface ke Personal Komputer	43

3.4.1	Pengertian Interfacing	43
3.4.2	Teknik Interfacing.....	43
3.5	Diagram Blok Alat Pengukur Torsi Motor Induksi 3 Fasa	44
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA DATA.....		45
4.1	Analisa Pengujian Strain Gages	45
4.2	Analisa Perhitungan Rangkaian Penguat Op-Amp.....	47
4.2.1	Analisa Perhitungan Rangkaian Penguat Op-Amp 1.....	47
4.2.2	Analisa Perhitungan Rangkaian Penguat Op-Amp 2.....	50
4.3	Analisa Perhitungan Rangkaian Buffer.....	54
BAB V PENUTUP.....		61
5.1	Kesimpulan	61
	Daftar Pustaka	62
	Lampiran	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Stator Tiga Fasa	5
Gambar 2.2. Medan Magnet Putar	6
Gambar 2.3. Rangkaian Ekuivalen Stator Motor Induksi	9
Gambar 2.4. Rangkaian Ekuivalen Rotor Motor Induksi	10
Gambar 2.5. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi	11
Gambar 2.6. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Yang di Sederhanakan	12
Gambar 2.7. Proses Terjadinya Torsi	13
Gambar 2.8. Jembatan Wheatstone	15
Gambar 2.9. Tekanan Lengkungan Strain gages	17
Gambar 2.10. Gambar Dasar Terminal Input Output Op-Amp	19
Gambar 2.11. Inverting Amplifier Dengan Masukan Tegangan Positif	20
Gambar 2.12. Inverting Amplifier Dengan Masukan Tegangan Negatif	22
Gambar 2.13. Non Inverting Amplifier Dengan Masukan Tegangan Positif	23
Gambar 2.14. Kemasan Kaleng 8-Lead	24
Gambar 2.15. Kemasan Mini 8-Lead	25
Gambar 2.16. Permukaan Labjack Dari Atas	30
Gambar 3.1. Rangkaian Pengkondisi Sinyal	39
Gambar 3.2. Rangkaian Penguat Inverting	41
Gambar 3.3. Susunan Seven Segment.....	42
Gambar 3.4. Rangkaian Strain Gages dan Penguatan	44
Gambar 3.5. Digram Blok Alat Pengukuran Torsi	44

Gambar 4.1. Rangkaian Offset Null	41
Gambar 4.2. Rangkaian Penguat Inverting 1	43
Gambar 4.3 Rangkaian Penguat Inverting 1	43
Gambar 4.4 Rangkaian Buffer	43

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hasil Perhitungan ΔV Strain Gages	46
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan dan Pengukuran Rangkaian Penguat Op-Amp 1	50
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan dan Pengukuran Rangkaian Penguat Op-Amp 2	54
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Rangkaian Buffer	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan di segala bidang adalah prioritas utama bagi seluruh bangsa di dunia. Semua Negara saling berlomba untuk menjadi yang terbaik dalam melakukan pembangunan Negara. Banyak sekali teori – teori dan peralatan baru atau pengembangan dari peralatan yang telah ada dan diciptakan untuk menunjang keberhasilan pembangunan tersebut.

Oleh sebab itu maka dalam hal pengembangan peralatan yang sudah ada dimana penggunaannya dan pengoperasiannya masih menggunakan teknologi yang lama maka untuk memudahkan dan lebih teliti dalam pembacaan pada saat pengukuran maka diterapkan teknologi baru. Berkenaan dengan hal tersebut maka untuk memudahkan dalam hal analisa data, tampilan data berupa digital dan dapat ditampilkan pada personal computer.

Alat pengukur torsi motor dengan menggunakan personal komputer ini merupakan alternatif yang baik untuk menunjang pengumpulan data dan penyimpanan data, khususnya pengumpulan data torsi motor sebagai pengganti sistem pengumpulan dan penyimpanan data secara konvensional.

Begitu juga dengan pesatnya perkembangan komunikasi diseluruh dunia, maka masyarakat harus mendapatkan informasi secara cepat dan tepat, hal ini merupakan dasar dari sistem alat ukur ini dalam mendayagunakan computer

sebagai peralatan yang cermat dan cepat di dalam pengumpulan maupun analisa data-data.

Peralatan ini juga dimungkinkan untuk digunakan di dalam suatu lembaga pendidikan atau instansi yang ingin mengetahui data torsi motor dalam waktu yang bersamaan sekaligus dapat dianalisa.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan hal tersebut pokok permasalahannya adalah bagaimana membuat alat pengukur torsi motor induksi 3 fasa yang dapat menampilkan data-data secara digital yang di interfacekan ke PC untuk keperluan Laboratorium Konversi Energi Listrik.

1.3. Tujuan

Merencanakan dan membuat alat pengukur torsi motor induksi 3 fasa yang dapat diinterface ke PC, dimana monitoring hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk tampilan seven segment juga diakuisisi ditampilkan pada PC untuk keperluan analisa data.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada dalam skripsi ini meliputi:

1. membahas rancangan mekanisme pengukur torsi motor induksi 3 fasa.
 2. membahas perencanaan peralatan instrumentasi.
 3. membahas perencanaan system interface ke PC.
-

4. membahas tentang perangkat lunak pada PC.
5. membahas teori pembangkitan torsi motor induksi 3 fasa.

1.5. Metodologi Penulisan

Untuk dapat mencapai sasaran yang sesuai dengan tujuan pembahasan skripsi ini, maka digunakan metode atau cara:

1. studi literatur dengan mencari dan mengumpulkan referensi dari berbagai sumber yang ada guna menunjang pembahasan.
2. merencanakan system alat yang akan dibuat.
3. membuat peralatan alat ukur torsi motor induksi tiga fasa.
4. melakukan pengujian peralatan yang telah dibuat.

1.6. Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini merupakan bab pendahuluan yang berisi latar belakang pemhasan masalah ini. Dan penjelasan mengenai hal-hal yang berhubungan dengan permasalahan secara garis besar agar pembaca sudah dapat mendapatkan gambaran mengenai permasalahan skripsi ini.

BAB II : DASAR TEORI

Dalam bab ini berisikan penjelasan tentang komponen-komponen utama yang membentuk system.

BAB III : PERANCANGAN ALAT

Dalam bab ini akan dibahas tentang sistem perangkat keras berupa komponen-komponen pendukung system peralatan pengukur torsi motor induksi 3 fasa dengan personal computer.

BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Dalam bab ini akan dibahas tentang pengujian dan percobaan alat yang berisikan penalaran dari hasil serangkaian percobaan selama penyusunan skripsi berdasarkan kenyataan yang ada.

BAB V : KESIMPULAN

Dalam bab ini akan diuraikan kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pembahasan pada bab-bab sebelumnya.

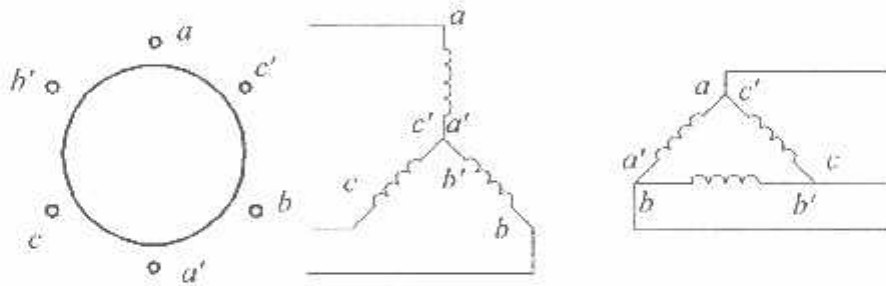
BAB II

DASAR TEORI

2.1. Motor Induksi Tiga Fasa

2.1.1. Pengertian Umum.

Mesin induksi (semua mesin arus bolak-balik yang berputar) mempunyai bagian yang diam, yang disebut stator dan bagian yang berputar, yang disebut rotor. Motor induksi tiga fasa mempunyai tiga lilitan yang terpisah satu dengan yang lainnya dengan sudut 120° . Gambar 2.1 memperlihatkan lilitan dari stator tiga fasa.



Gambar 2.1
Stator Tiga Fasa

Sumber : R.F. Lambert, *Electromechanical Energy Conversion, International Textbooks in Electrical Engineering, Second Printing, 1965*

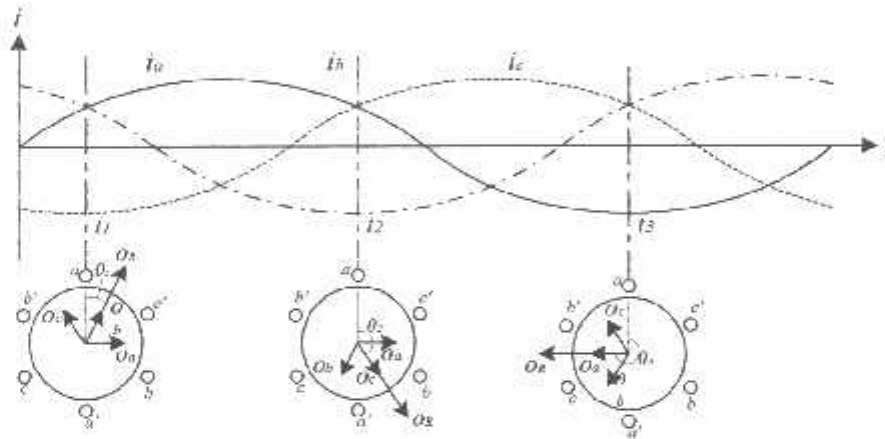
Rotor dari motor induksi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu :

1. Rotor belitan. Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga fasa sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama.

2. Rotor sangkar. Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar tupai.

2.1.2. Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa.

Berputarnya rotor pada motor induksi tiga fasa ditimbulkan oleh adanya medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa.



Gambar 2.2
Medan Magnet Putar

Sumber : S.A. Nasir And L.E. Umewela, *Electromechanics and Electric Machines*, United States of America, 1979.

Prinsip kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan :

$$n_s = \frac{120f}{p} \text{ rpm} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{atau} \quad \omega_s = \frac{4\pi \cdot f}{p} \text{ rad/sec} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor sehingga pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (ggl induksi).
3. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup maka akan mengalir arus (I). Kawat penghantar (kumparan rotor) yang dialiri arus yang berada dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor.
4. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor lebih besar dari pada kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
5. Seperti yang telah dijelaskan bahwa tegangan induksi timbul karena adanya perpotongan penghantar oleh medan putar stator. Artinya kecepatan putar rotor (n_r) tidak boleh sama cepat dengan kecepatan putar medan putar (n_s). Apabila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor sehingga tidak dihasilkan kopel, maka rotor akan cenderung untuk berhenti. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .
6. Perbedaan kecepatan putar antar medan putar dengan kecepatan putar rotor disebut slip (s).

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Bila frekwensi tegangan stator adalah f_s , dan frekwensi tegangan induksi pada rotor adalah f_r , maka :

$$f_s = \frac{p.n_s}{120} \dots\dots\dots(2.4)$$

Sedangkan kecepatan putar relatif medan putar stator terhadap kecepatan putar rotor adalah $n_s - n_r$, sehingga fekwensi tegangan induksi pada rotor :

$$f_r = \frac{p(n_s - n_r)}{120} \dots\dots\dots(2.5)$$

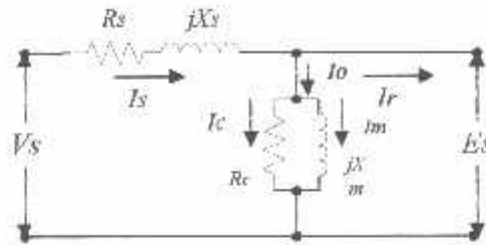
Dari persamaan (2.4) dan (2.5) dapat ditulis :

$$f_r = \frac{p.n_r}{120} \cdot \frac{(n_s - n_r)}{n_s} = s.f_s \dots\dots\dots(2.6)$$

2.2. Rangkaian Ekwivalen Motor Induksi Tiga Fasa

2.2.1. Rangkaian Stator Motor Induksi

Jika belitan stator mendapatkan tegangan catu dari jala-jala sebesar V_s , maka akan mengalir arus putar tiga fasa pada belitan stator yang akan membangkitan medan magnet tiga fasa. Arus stator (I_s) dapat dibagi menjadi dua komponen yaitu komponen beban (I_r) dan komponen penguat / eksitasi (I_o).



Gambar 2.3

Rangkaian Ekuivalen Stator Motor Induksi

Sumber : A.C. Fitzgerald and Charles Kingsley, Jr., Electric Machinery, Second Edition, International Student Edition, New York Toronto London.

2.2.2. Rangkaian Rotor Motor Induksi

Pada saat rotor masih diam, medan putar stator akan memotong batang konduktor dengan kecepatan putar sinkron (n_s), sehingga frekwensi arus rotor sama dengan frekwensi arus stator ($f_s - f_r$) dan slip sama dengan satu ($s = 1$). Dengan mengetahui bahwa frekwensi arus /tegangan rotor adalah frekwensi slip, maka reaktansi bocor rotor perfasa adalah :

$$X_r' = sX_r \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

$$X_r = 2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot L_r \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana X_r merupakan reaktansi pada saat start atau diam

Tegangan yang diinduksikan pada rotor :

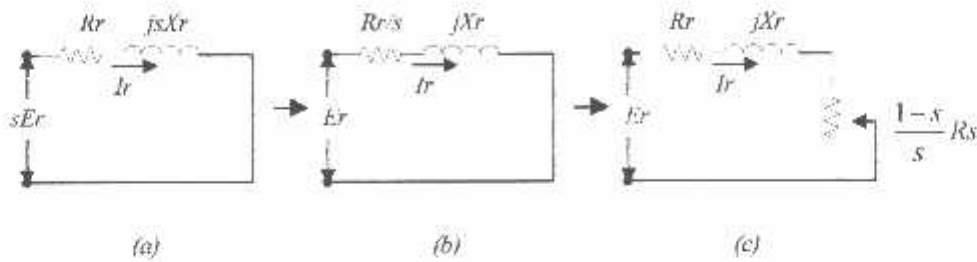
$$E_r = 4,44 \cdot f_r \cdot N_r \cdot \phi_m \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Pada slip, s , frekwensi rotor menjadi $s \cdot f_s$, maka tegangan yang diinduksikan pada rotor (E_r') pada slip, s , adalah :

$$E_r = 4.44 \cdot s \cdot f_s \cdot N_r \cdot \Phi_m \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan memasukkan (2.9) ke (2.10) maka didapat :

$$E_r = s \cdot E_r \dots\dots\dots(2.11)$$



Gambar 2.4
Rangkaian Ekuivalen Rotor Motor Induksi

Sumber : S.A. Naser And L.E. Unnewehr. Electromechanics and Electric Machines, United States of America, 1979.

Berdasarkan (2.7) dan (2.11) maka diperoleh rangkaian rotor seperti pada gambar

2.4 (a). Arus rotor (I_r) yaitu :

$$I_r = \frac{sE_r}{\sqrt{R_r^2 + (sX_r)^2}} \dots\dots\dots(2.12)$$

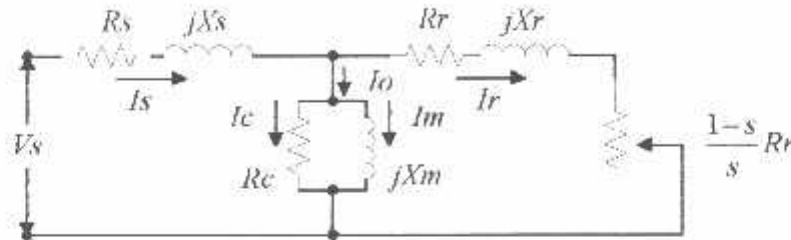
Atau
$$I_r = \frac{E_r}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + (X_r)^2}} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.2.3. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Kerja motor induksi seperti juga kerja pada transformator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Oleh karena itu motor induksi dapat dipandang sebagai transformator yang mempunyai ciri-ciri khusus yaitu :

1. Stator sebagai sisi primer.

2. Rotor sebagai sisi skunder yang penghantar-penghantarnya dihubungkan singkat dan berputar.
3. Kopleng antara sisi primer dan sisi skunder dipisahkan oleh celah udara.



Gambar 2.5

Rangkaian Ekuivalen Motor induksi

Sumber : Djoko Achyanto Msc.,EE, Mesin-Mesin Listrik, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta

Rangkaian ekuivalen tersebut memperlihatkan bahwa daya keseluruhan yang dialihkan pada celah udara dari stator (masukan daya ke rotor) adalah :

$$P_r = 3I_r^2 \frac{R_r}{s} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dan rugi tembaga rotor : $P_{cu} = 3 I_r^2 R_r \dots\dots\dots(2.15)$

Maka daya mekanis yang dibangkitkan oleh motor induksi adalah :

$$P_m = P_r - P_{cu} = 3 I_r^2 \frac{R_r}{s} - 3 I_r^2 R_r = 3 I_r^2 R_r \frac{(1-s)}{s} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$P_m = T \omega_r = T \omega_s (1-s) \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan : T = Torsi motor dalam N-m

ω_r = Kecepatan rotor dalam rad/detik

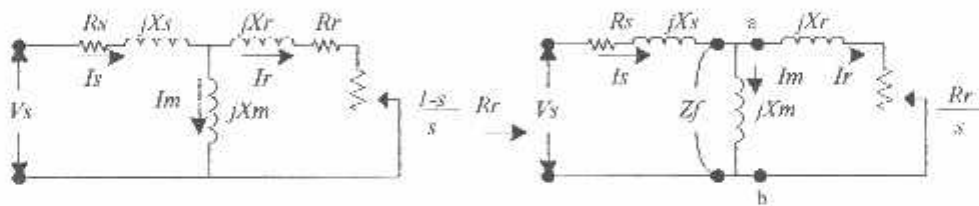
$\omega_s =$ Kecepatan stator dalam rad/detik

Sehingga diperoleh :

$$T = (3/\omega_s) I_r^2 \frac{R_r}{s} \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

$$I_r = \frac{V_s}{\sqrt{\left(R_s + \frac{R_r}{s}\right)^2 + (X_s + X_r)^2}} \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

Dalam analisis rangkaian ekivalen sering disederhanakan dengan menghilangkan resistansi (R_c), sehingga rangkaian ekivalen pada gambar (2.5) berubah seperti pada gambar (2.6).



Gambar 2.6

Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Yang Disederhanakan

Sumber : Djoko Achyanto Msc.,EE, Mesin-Mesin Listrik, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.

Dengan mensubstitusi persamaan (2.18) dan (2.19) dapat ditulis :

$$T = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_s^2}{\left(R_s + \frac{R_r}{s}\right)^2 + (X_s + X_r)^2} \cdot \frac{R_r}{s} \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

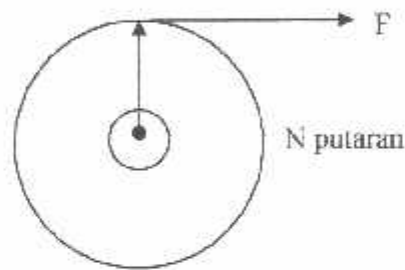
Torsi starting (T_{st}) dapat diperoleh dari persamaan (2.20) dengan memasukkan

$s = 1$, maka :

$$T_{\sigma} = \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{V_s^2 \cdot R_s}{(R_s + R_r)^2 + (X_s + X_r)^2} \dots\dots\dots(2.21)$$

2.3. Torsi

Yang dimaksud dengan torsi adalah putaran atau pemuntiran dari suatu gaya terhadap suatu poros. Ini diukur dengan hasil kali gaya itu dengan jari-jari lingkaran dimana gaya tersebut bekerja (seperti pada gambar 2.7 berikut)



Gambar 2.7
Proses Terjadinya Torsi

Besarnya torsi adalah :

$$\Gamma = F \cdot r \text{ (Newton Meter)}$$

Usaha yang dilakukan oleh gaya (F) tersebut pada satu putaran adalah:

$$\begin{aligned} W &= \text{gaya} \times \text{jarak} \\ &= F \times 2\pi \cdot r \text{ (Joule)} \end{aligned}$$

Daya yang dibangkitkan adalah:

$$P = F \times 2\pi \cdot r \times n$$

$$= (F.r) \times 2\pi.r \text{ (Joule/detik)}$$

jika:

$2\pi.r$ = Kecepatan sudut (ω) dalam radian/detik

$(F.r)$ = Torsi (Γ)

jadi daya (P) = $\Gamma \cdot \omega$ (joule/detik)

$$= \Gamma \cdot \omega \text{ (Watt)}$$

Daya listrik yang diubah menjadi daya mekanis adalah:

$$P_{\text{listrik}} = E \cdot I \text{ (Watt)}$$

Dimana E = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (A)

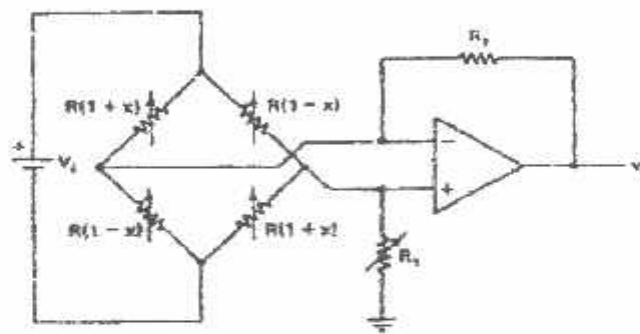
Jadi $\Gamma \cdot 2\pi.n = E \cdot I$

$$\Gamma = 0.5[(E.I)/(\pi.n)] \text{ N.m}$$

2.4. Strain Gages

Pada rancangan peralatan untuk sensor gaya digunakan strain gages. Strain gages adalah suatu transducer yang digunakan untuk pengukuran gaya dan pengukuran tekanan. Dimana strain gages ini mempunyai regangan sebagai akibat dari elemen yang tegang dengan pergeseran. Strain gages merupakan peralatan impedansi rendah yang mempunyai nilai resistansi 120-350 Ω , yang berarti bahwa jatuh tegangan pada kabel yang menyebabkan input jembatan sangat berperan pada perubahan penguatan. Karena tegangan keluaran sebanding dengan penguatan. Perubahan ini akan menghasilkan error penguatan yang kecil. Perubahan nilai strain gages untuk resistansi fraksional dengan regangan adalah

sangat kecil biasanya 1 %, karena dipengaruhi oleh suhu. Strain gages merubah resistansi meteran dan menghasilkan regangan karena perbedaan koefisien ekspansi logam meteran dengan struktur pengujian. Salah satu cara terbaik untuk memperoleh kompensasi suhu adalah melalui penggunaan susunan jembatan wheatstone seimbang empat strain gages. Gambar 2.8 menunjukkan jembatan wheatstone secara umum. Penguatan, hubungan input dan output. Tegangan penguatan V_{in} dapat berupa ac atau dc. Hubungan menunjukkan bahwa ketika $R_1/R_4=R_2/R_3$, resistansi jembatan adalah null (yaitu jembatan setimbang).



Gambar 2.8
Jembatan Wheatstone

Sumber : Willis J.Tomskin, Interfacing Sensor to the IBM PC, Prentice Hall PTR, 1998 Hal 267

2.4.1. Prinsip Strain Gages

Untuk kabel dengan luas penampang melintang A , resistifitas ρ , dan panjang L , resistansi diberikan oleh :

$$R = \frac{\rho L}{A} \dots\dots\dots (2.22)$$

ketika kabel ditarik, luas penampang A berkurang yang menyebabkan total resistansi kabel naik dan struktur molekul berubah karena regangan, resistifitas

material juga berubah dan ini menyebabkan resistansi naik. Kedua pengaruh tersebut dimasukkan dalam persamaan 2.23

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{(1 + 2\sigma)\Delta L}{L} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana $\Delta R/R$ = perubahan resistansi fraksional

σ = rasio poisson

$\Delta L/L$ = perubahan fraksional dalam panjang

$\Delta D/D$ = perubahan fraksional dalam diameter

$\Delta\rho/\rho$ = perubahan fraksional dalam resistifitas

Istilah pertama dalam persamaan 2.23 terkait dengan perubahan dimensi dan yang kedua disebabkan oleh perubahan dalam resistifitas dengan regangan umumnya disebut efek piezoresistif.

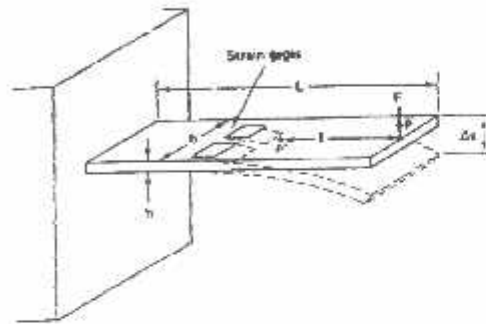
Untuk menyediakan perbandingan performansi sebagai material meteran, faktor meteran, atau sensitifitas regangan dari meteran didefinisikan sebagai :

$$G = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = 1 + 2\sigma + \frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta L/L} \dots\dots\dots (2.24)$$

untuk sebagian besar logam, rasio poisson kira-kira 0,3 sehingga faktor meteran G paling sedikit 1,6.

2.4.2. Strain Gages Dan Aplikasinya

Jika diaplikasikan pada sebuah obyek yang diregangkan, strain gages sangat bermanfaat untuk mengukur pergeseran yang relative kecil. Akan tetapi pergeseran yang besar dapat diukur dengan menggabungkan strain gages dengan sebuah elemen yang fleksibel dan mengaplikasikan pergeseran yang tidak diketahui Δs pada ujung balok seperti pada gambar 2.9 dibawah ini



Gambar 2.9

Tekanan Lengkungan Strain Gages

Sumber : Willis J. Tomskin, *Interfacing Sensor To The IBM PC*, Prentice Hall PTR, 1998 Hal 250.

Ini dilakukan untuk lengkungan yang seragam, persamaannya untuk pergeseran yang kecil sebagai berikut :

$$\Delta s = \frac{2l^2 \epsilon}{3h} \dots \dots \dots (2.25)$$

dimana:

b, h, dan L = lebar, tebal dan panjang balok

p = titik dimana gaya diberikan

p' = titik dimana regangan diukur

l = jarak antara p dan p'

ϵ_x = regangan pada titik p'

penyusunan strain gages yang tidak benar dapat menghasilkan error yang besar karena pengaruh adanya gerakan perlahan, efek kelembaban, isolasi listrik yang jelek dan potongan pengujian dan faktor yang lain. Susunan strain gages juga sangat penting untuk mengeliminasi error dan sebaiknya dilakukan pengujian sebelum strain gages di aplikasikan pada media yang digunakan sebagai tempat pemasangan strain gages. Hal ini perlu dilakukan untuk membantu penempatan strain gages yang tepat. Prosedur untuk pemasangan strain gages dengan cara mengampelas dan membersihkan bagian yang akan dipasang strain gages. Digunakan epoxy untuk menempelkan strain gages dan membalut mylar pada terminal strain gages dan menyegel strain gages.

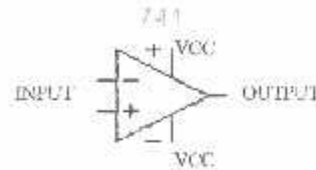
2.5. Operational Amplifier

Operational Amplifier (Op-Amp) adalah amplifier yang mempunyai penguatan yang sangat tinggi. Impedansi inputnya tinggi dan impedansi keluarannya rendah. Op-Amp pada umumnya digunakan sebagai penguat tegangan, osilator, filter dan banyak digunakan pada rangkaian instrumentasi. Sebuah Op-Amp memiliki beberapa tingkat penguatan untuk mencapai penguatan yang sangat tinggi.

Gambar 2.10 memperlihatkan gambar terminal-terminal dasar untuk input dari Op-Amp yang terdiri dari dua terminal input dan satu terminal output.

Pada terminal input 1 merupakan terminal input non inverting karena sinyal yang masuk tidak berubah polaritasnya pada outputnya. Sedangkan pada terminal input

2 merupakan terminal input inverting karena sinyal yang masuk akan berubah polaritasnya pada outputnya.



Gambar 2.10

Gambar Dasar Terminal Input Output Op-Amp

Sumber : Johnson, D. Operational Amplifier Circuit : Design and Application, Prentice-Hall inc. 1982. Hal 31

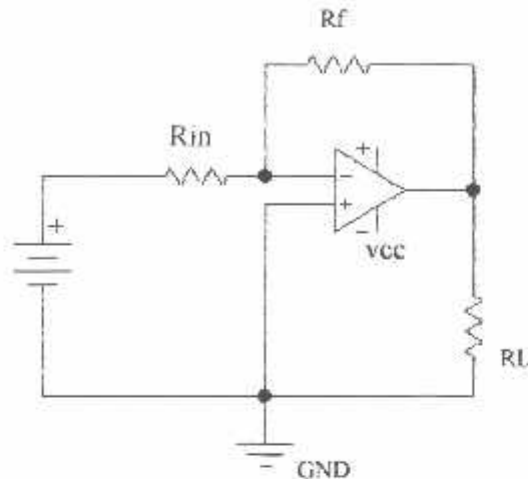
Karakteristik dari Op-Amp yang ideal bila tegangan $-11V$ dan $+12V$ pada terminal VCC dan arus yang masuk ke terminal input sama dengan nol sehingga tegangan di terminal outputnya juga nol, keadaan ini disebut offset voltage. Beberapa Op-Amp seperti tipe LM 741 memiliki terminal offset voltage yang digunakan untuk menyetel offset voltage menjadi nol.

2.5.1. Inverting Amplifier

Rangkaian dari gambar 2.11 adalah salah satu rangkaian Op-Amp yang banyak digunakan. Rangkaian ini disebut inverting amplifier karena sinyal input masuk ke terminal (-) Op-Amp-nya yang menyebabkan pembalikan polaritas sinyal input. Rangkaian ini merupakan sebuah penguat yang gain utaiannya tertutupnya dari V input ke V output ditentukan R_f dan R_{in} yang dapat memperkuat sinyal ac atau dc. Untuk memahami kerja rangkaian ini kita buat dua penyederhanaan yang realistis yaitu:

- 1, Tegangan E_d antara masukan (+) dan (-) pada dasarnya nol.

2. Arus yang dialirkan oleh terminal masukan (+) atau (-) dapat diabaikan



Gambar 2.11

Inverting Amplifier Dengan Masukan Tegangan Positif

Sumber : Johnson, D. Operational Amplifier Circuit : Design and Application, Prentice-Hall inc. 1982. Hal 33

Dalam gambar 2.11 tegangan positif V_{in} diterapkan melalui tahanan masukan R_{in} ke masukan (-) Op-Amp-nya. Umpan balik negatif dibuat oleh tahanan umpan balik R_f . Tegangan antara masukan (+) dan (-) pada dasarnya sama dengan nol Volt. Karena ujung R_{in} yang satunya ada di V_{in} , penurunan tegangan melalui R_{in} adalah V_{in} . Arus yang melalui R_{in} didapat dari hukum ohm, yaitu:

$$I = \frac{V_{in}}{R_{in}} \dots \dots \dots (2.25)$$

Seluruh arus masukan I mengalir melalui R_f , karena jumlah yang dialirkan oleh terminal masukan (-) nya dapat diabaikan. Catat bahwa arus yang melalui R_f ditentukan oleh R_{in} dan V_{in} dan bukan oleh R_f , V_f atau Op-Amp-nya. Penurunan tegangan yang melalui R_f adalah:

$$V_{Rf} = I.R_f = \frac{V_{in}}{R_{in}}.R_f \dots \dots \dots (2.25)$$

Seperti terlihat pada gambar 2.11 satu ujung R_f dan ujung R_L beban telah dihubungkan. Tegangan dari hubungan ini ke ground adalah V_o . Ujung R_f dan R_L yang lain berada pada potensial ground. Karenanya V_o menyamai V_{Rf} (tegangan melalui R_f), memaksa ujung kanan R_f menjadi negatif. Oleh sebab itu V_o menjadi negatif bila V_{in} positif. Sekarang dengan menyamakan V_o dengan V_{Rf} dan menambahkan tanda minus untuk menandakan bahwa V_o menjadi negatif bila V_{in} positif maka persamaannya sebagai berikut:

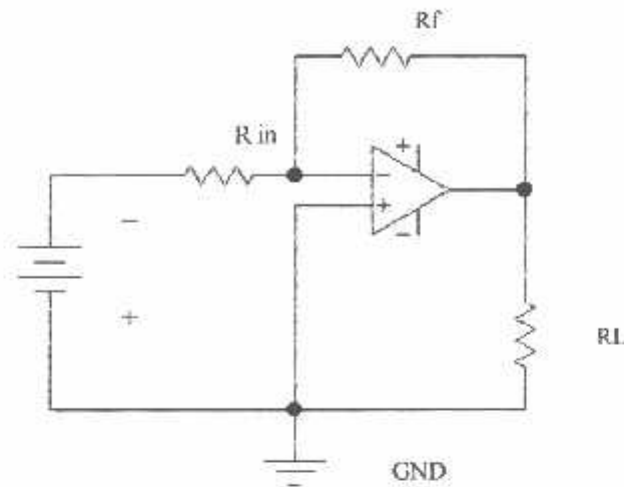
$$V_o = -V_{in} \frac{R_f}{R_{in}} \dots\dots\dots(2.26)$$

sekarang dengan memasukkan definisi bahwa gain untai tertutup dari penguat tersebut sebagai ACL , persamaannya menjadi:

$$ACL = \frac{V_o}{V_{in}} = - \frac{R_f}{R_{in}} \dots\dots\dots(2.27)$$

tanda minus (-) dalam persamaan diatas memperlihatkan bahwa polaritas keluaran V_o terbalik terhadap V_{in} . Untuk alasan ini, rangkaian dari gambar 2.11 disebut *inverting amplifier*.

Gambar 2.12 memperlihatkan suatu tegangan negatif V_{in} yang diterapkan lewat R_{in} ke masukan pembalik atau (-). Semua prinsip dan persamaan dari 2.25 sampai 2.27 masih berguna. Satu-satunya perbedaan antara gambar 2.11 dan 2.12 adalah arah dari arusnya. Sekarang keluaran dari penguat tersebut akan menjadi positif bila V_{in} negatif.



Gambar 2.12

Inverting Amplifier Dengan Masukan Tegangan Negatif

Sumber : Johnson, D. Operational Amplifier Circuit: Design and Application, Prentice-Hall inc. 1982. 11of 33

2.5.2. Non Inverting Amplifier

Rangkaian pada gambar 2.13 adalah sebuah non inverting amplifier.

Tegangan keluarannya V_o mempunyai polaritas yang sama seperti tegangan masukan V_{in} . Tahanan masukan non inverting amplifier biasanya besar, biasanya melebihi 100 M Ω . Karena tegangan antara terminal input (+) dan (-) dari Op-Amp praktis 0V, maka kedua terminal input tersebut berada pada tegangan V_{in} yang sama. Karenanya V_{in} tampak melintasi R_{in} yang menyebabkan arus I mengalir seperti persamaan berikut:

$$I = \frac{V_{in}}{R_{in}} \dots \dots \dots (2.28)$$

arah I tergantung pada polaritas V_{in} . Arus masukan ke terminal (-) Op-Amp tersebut dapat diabaikan. Karenanya I mengalir melalui R_f dan penurunan tegangan melintasi R_f dinyatakan oleh V_{in} dan persamaannya sebagai berikut:

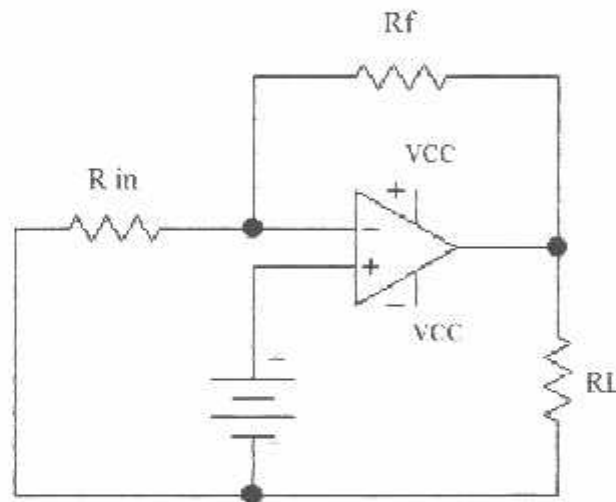
$$V_{rf} = 1.Rf \frac{Rf}{Rin} V_{in} \dots\dots\dots (2.29)$$

tegangan V_o didapat dengan menambah penurunan tegangan melintasi R_{in} yaitu V_{in} ke tegangan yang melintasi R_F yaitu V_{RF} , persamaannya sebagai berikut:

$$V_o = V_{in} + \frac{Rf}{Rin} V_{in} = (1 + \frac{Rf}{Rin}) V_{in} \dots\dots\dots (2.30)$$

dengan menyusun kembali persamaan 3.7 untuk menyatakan gain tegangannya sehingga persamaannya menjadi:

$$ACL = \frac{V_o}{V_{in}} = 1 + \frac{Rf}{Rin} \dots\dots\dots (2.31)$$



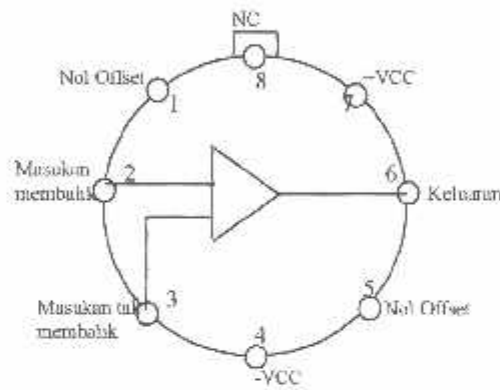
Gambar 2.13

Non Inverting Amplifier Dengan Input Tegangan Positif

Sumber : Johnson, D. Operational Amplifier Circuit: Design and Application, Prentice-Hall inc. 1982. Hal 33

2.6. IC LM 741

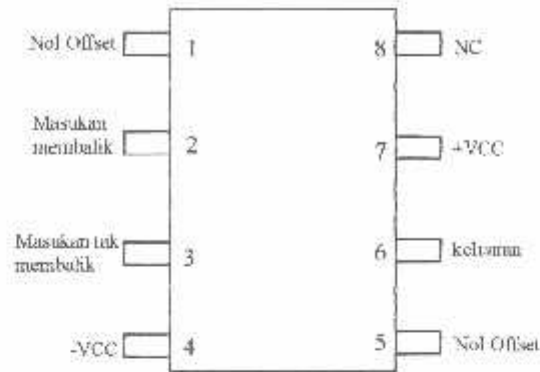
IC LM 741 dikeluarkan dan dibuat oleh Nasional Semikonduktor. IC ini banyak modelnya dari kemasan logam yang berbentuk bulat (kemasan kaleng) dan kemasan plastic berbentuk kotak. Skema rangkaian Op-Amp IC LM 741 merupakan sebuah anak panah seperti terlihat pada gambar 2.14 ujung panah melambangkan penguatan dan titik-titik dari masukan dan keluaran.



Gambar 2.14

Kemasan kaleng 8-lead

Sumber : Charles A. Scholer & William L. Mc Namoe, Industrial Electronic & Robotic Mc Graw Hill inc. Hal 138



Gambar 2.15

Kemasan Mini 8-lead

Sumber : Charles A. Schuler & William L. Mc Namee. Industrial Electronic & Robotic Mc Graw Hill inc. Hal 138

2.6.1. Karakteristik Dan Parameter Op-Amp

Karakteristik dan parameter Op-Amp meliputi:

1. Impedansi Masukan

Impedansi Op-Amp idealnya adalah tak berhingga. Dalam kenyataannya hanya mencapai $1\text{ M}\Omega$ atau lebih. Makin tinggi impedansi masukan makin baik unjuk kerja Op-Amp tersebut.

2. Impedansi Keluaran

Idealnya impedansi keluaran adalah nol kenyataannya berbeda-beda untuk setiap Op-Amp. Impedansi keluaran nol bertujuan agar Op-Amp sebagai sumber tegangan yang mampu memberikan arus dari berbagai macam beban. Karena dengan impedansi masukan tinggi dan impedansi keluaran rendah, maka Op-Amp berfungsi sebagai piranti penyesuaian impedansi.

3. Arus Bias Masukan

Arus bias masukan merupakan arus yang masuk pada Op-Amp karena impedansi masukan tidak berhingga tidak terpenuhi. Arus ini dapat menggoyahkan kestabilan Op-Amp sehingga mempengaruhi keluaran. Makin rendah arus bias masukan makin tinggi kestabilannya.

4. Tegangan Offset keluaran

Tegangan offset terjadi karena arus bias masukan, keluaran Op-Amp akan nol volt apabila kedua masukan sama besar sehingga untuk mengatasi hal ini menambahkan arus atau tegangan masukan.

5. Arus Offset Masukan

Tegangan keluaran pada Op-Amp akan nol apabila kedua arus masukan sama besar. Bila ada perbedaan arus diantara kedua input Op-Amp maka keluarannya tidak nol volt. Untuk mengatasinya ditambahkan arus offset masukan.

6. Tegangan Offset Masukan

Tegangan offset juga mempengaruhi keluaran Op-Amp bila kedua tegangan input sama maka keluaran Op-Amp haruslah nol Volt karena berkenaan dengan penguatan Op-Amp yang tinggi mengakibatkan munculnya tegangan keluaran. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut diberikan sedikit tegangan offset pada masukannya.

7. pengaruh temperatur

perubahan temperatur pada Op-Amp sangat berpengaruh terhadap perubahan arus offset dan tegangan offset yang disebut dengan geseran (drift). Drift yang

disebabkan oleh temperatur akan mengganggu keseimbangan Op-Amp yang telah diatur sebelumnya dan menyebabkan pada keluaran akan terjadi kesalahan.

8. Kompensasi Frekuensi

Karena penguatan Op-Amp yang tinggi dan adanya pergeseran fasa antar rangkaian internal, maka frekuensi tinggi tertentu pada keluaran akan diumpankan kembali ke masukan, sehingga terjadi osilasi. Untuk mencegah osilasi ini maka pada Op-Amp diberikan kondensator kompensasi tujuannya untuk menurunkan penguatan Op-Amp ketika frekuensi naik.

9. Laju Lantingan

Laju lantingan atau slew rate adalah laju perubahan maksimum tegangan keluaran Op-Amp dinyatakan dengan:

$$\text{slewrata} = \frac{\text{perubahanmaksimumtegangan keluaran}}{\text{perubahanwaktu}}$$

$$\text{slewrata} = \frac{\Delta V_{out(maks)}}{\Delta t}$$

10. Tanggapan Frekuensi

Tanggapan frekuensi merupakan tanggapan frekuensi terhadap peningkatan frekuensi

11. Derau

Derau pada Op-Amp umumnya dibangkitkan dari luar misalnya dari catu daya, resistor, kondensator pada rangkaian yang beroperasi dalam daerah frekuensi 0,01 Hz sampai beberapa M Hz. Derau luar dapat ditindas dengan rangkaian yang dirakit secara benar dari Op-Amp sendiri juga dapat menghasilkan derau yang ditimbulkan oleh komponen-komponen internal, arus bias dan drift. Derau internal

ini dapat dikurangi dengan menambahkan kapasitor ≈ 3 pF pada resistor umpan balik.

Penguatan derau dinyatakan dalam

$$\text{penguatan derau} = 1 + \frac{R_f}{R_{in}}$$

12. Perbandingan Penolakan Modus Sekutu (CMMR=Common Mode Rejection Ratio)

CMMR adalah suatu sifat yang berkaitan dengan penguat diferensial bila tegangan-tegangan yang sama fasanya diinputkan pada kedua masukan Op-Amp maka keluarannya akan nol. Kemampuan Op-Amp untuk memperkuat sinyal differensial serta menindas sinyal dengan frekuensi sama dan fasa sama (modus sekutu) dinyatakan dalam:

$$CMMR = \frac{A_D}{A_{cm}}$$

dimana : A_D = penguatan differensial

A_{cm} = penguatan modus sekutu

CMMR dinyatakan dalam desibel (db) makin tinggi nilainya maka makin baik tingkat penolakannya.

2.7. Modul Data Akuisisi

2.7.1. Labjack

Labjack adalah suatu peralatan yang dapat digunakan sebagai sarana penghubung otomatisasi dari dunia nyata yang langsung dikoneksikan pada PC. Labjack U12 mempunyai mekanisme proteksi yang baik sehingga kecil kemungkinannya untuk menyebabkan kerusakan pada labjack .

2.7.2. Instalasi

Labjack U12 memerlukan suatu PC yang dijalankan dengan program aplikasi windows 98SE, ME, 2000 atau XP. Dengan menggunakan kabel yang dihubungkan pada labjack U12 ke port USB. Kabel USB menyediakan komunikasi data dan power supply untuk labjack U12. indikator LED akan seketika berkedip 4 kali (sekitar 4 Hz) dan labjack akan menyebut satu persatu.

Penyebutan satu persatu adalah proses dimana system operasi PC mengumpulkan informasi dari sinyal USB dan menjelaskan kemampuan labjack. Untuk driver tingkat rendah pada labjack U12 dimasukkan pada program windows, driver tingkat tinggi juga diperlukan untuk mengirimkan data dan menerima data. Misalnya untuk program contoh aplikasi. Untuk menjalankan program contoh aplikasi diperlukan software program install yaitu Instrument Nasional Labview.

2.7.3. Bentuk Fisik DAQ Board

Tampilan luar dari labjack U12 adalah:

- Konektor USB
- DB25 konektor digital Input Output
- Status LED
- 30 terminal sekrup

kabel USB menyediakan power dan jalur komunikasi. Power supply dari luar tidak diperlukan. Dibawah ini merupakan gambar dari sebuah labjack dari permukaan.



Gambar 2.16
Permukaan Labjack dari Atas
Sumber: Labjack U12 User guide 1, USA, 2003

Gambar 2.16 menunjukkan permukaan atas dari labjack U12 yang tidak terlihat adalah konektor USB dan konektor DB25, yang mana keduanya berada dibagian bingkai atas. Konektor DB25 menyediakan koneksi untuk 16 jalur digital input

output yang disebut D0-D15, ada 30 terminal sekrup yang ditunjukkan pada gambar 1, masing-masing terminal mempunyai label. Yaitu A10-STB.

A10-A17 : labjack U12 mempunyai 8 terminal untuk masukan sinyal analog. Ini dapat diatur secara sendiri-sendiri. Seperti 8 saluran tunggal, 4 saluran differensial atau kombinasi keduanya. Dan tiap masukan mempunyai resolusi 12 bit dan arus penyimpangan masukan $\pm 90\mu\text{A}$.

- ❖ Masukan tunggal mempunyai batas masukan ± 10 Volt.

- ❖ Saluran differensial dapat menggunakan PGA menyediakan penguatan sampai diatas 20 kali. Menggunakan resolusi efektif lebih besar dari pada 16 bit. Model saluran differensial ini tegangan dari tiap AI yang dihubungkan ke ground diantara ± 10 Volt. Tetapi perbedaan batasan tegangan diantara 2 AI adalah fungsi penguatan sebagai berikut:

G=1	± 20 Volt
G=2	± 10 Volt
G=4	± 5 Volt
G=8	± 2.5 Volt
G=10	± 2 Volt
G=16	± 1.25 Volt
G=20	± 1 Volt

A00-A01 : labjack U12 mempunyai terminal keluaran tegangan analog. Masing-masing keluaran analog dapat diatur mulai 0 sampai 5 Volt dengan resolusi 10 bit.

IO0-IO3 : koneksi ke 4 pada labjack 20 digital input output dilakukan pada terminal dan referensi pada IO0-IO3 saluran ke 4 ini memiliki rangkaian resistor 1.5 K Ω untuk proteksi tegangan lebih atau hubung singkat.

DO-D15 : koneksi ke 16 labjack U12 20 digital input output dilakukan oleh konektor DB25. dan dinamakan dengan DO-D15. ke 16 jalur ini tidak mempunyai proteksi tegangan lebih atau hubung singkat dan dapat menerima minimal sumber arus 25 mA. Masing-masing jumlah arus maksimum 200 mA untuh seluruh 16 jalur. Semua digital input output CMOS output atau TTL input kecuali D13-D15 adalah input schmit trigger.

Pin keluaran DB25:

1.DO	6.D5	11.+5	16.GND	21.D11
2.D1	7.D6	12.+5	17.GND	22.D12
3.D2	8.D7	13.+5	18.D8	23.D13
4.D3	9.NC	14.GND	19.D9	24.D14
5.D4	10.+5	15.GND	20.D10	25.D15

CNT : koneksi masukan ke kounter 32 bit dimiliki oleh terminal CNT kounter, ketika mendeteksi batas bawah dan batas tepi dan mampu menghitung frckuensi sampai pada 1 MHz.

CAL & STB : terminal ini digunakan selama pengujian dan kalibrasi. Terminal CAL acuan tegangannya adalah 2.5 Volt.

+5 : Labjack mempunyai power supply internal +5 Volt. Power dapat diterima dari power supply dengan menghubungkan pada terminal +5 Volt. Atau pin +5

Volt pada konektor DB25. Total jumlah arus yang masuk dari pin +5 Volt, keluaran analog, dan keluaran digital adalah 450 mA. Untuk computer desktop dan power hub USB, note book computer dan hub power bus dibatasi, tersedia arus sekitar 50 mA.

GND : koneksi GND tersedia pada terminal konektor DB25 dan menyediakan jalur ground untuk fungsi labjack.

2.7.4. Pengoperasian Labjack

Labjack U12 menginstal 9 contoh aplikasi yaitu: LJConfig, LJCounter, LJfg, LJLogger, LJScope, LJStream, LJTest, LJSHT, dan LJSHTmulti. Program labview diinstal untuk menjalankan program contoh aplikasi.

LJConfig : mengatur local ID labjack tertentu, ini diperlukan jika ada beberapa labjack yang dihubungkan ke USB. Setiap labjack mempunyai local ID dan serial number. Local ID adalah nilai antara 0-255 dan dapat diganti. Serial number mempunyai nilai antara 256 an 2, 147, 483, 647 serial number mempunyai nomer yang tidak dapat diganti oleh penggunanya.

LJCounter : membaca counter labjack dan menyediakan frekuensi dan perhitungan.

LJfg : keluaran bentuk gelombang dasar AO0 (keluaran analog 0)

LJLogger : mengirimkan dan menerima data dari semua saluran dalam perintah atau respon mode.

LJScope : simulasi dari oscilloscope pembacaan data dan AI saluran didalam burst mode.

LJStream : menggunakan mode stream untuk membaca grafik dan tulisan untuk file, 4 AI saluran.

LJTest : menjalankan urutan pengujian pada labjack itu sendiri. Pemakai pada umumnya melakukan pengujian tanpa peralatan yang dihubungkan ke labjack (kecuali khusus pada USB).

LJSHT : mengulangi dan menyimpan data dari 1 atau 2 EI-1050 untuk temperatur digital.

LJSHTmulti : menampilkan data dari 20 EI-1050 untuk temperatur digital.

2.7.5. Driver

Ada 37 fungsi yang dikeluarkan oleh labjack. Dan sesuai dengan fungsi di dalam OCX dan labview VIs. Semua fungsi dapat merespon kecuali untuk AI burst dan AI stream start/read/clear. Berikut adalah uraian ringkas dari tiap-tiap fungsi.

EAnalogIn : membaca tegangan dari satu masukan analog.

EAnalogOut ; menetapkan tegangan pada kedua keluaran analog.

ECount : membaca dan menampilkan kembali perhitungan .

EDigitalIN : membaca status satu masukan digital.

EDigitalOut : menetapkan status satu keluaran digital.

AIsample : membaca tegangan dari 1, 2, atau 4 masukan analog.

AIBurst : membaca data yang diteliti (sampai pada 4096) untuk spesifikasi tingkat ketelitian sampai pada 8192 Hz dari 1, 2, atau 4 masukan analog. Yang pertama

data diperoleh dan disimpan didalam labjack 4096 contoh penyangga RAM. Kemudian data ditransfer ke personal computer.

AIStreamStart : permulaan saat waktu perangkat keras berlangsung diakuisisi dimana contoh data disimpan didalam labjack pada penyangga RAM. Dan dapat ditransfer secara bersamaan keluar dari penyangga RAM pada aplikasi personal computer. Suatu fungsi harus diikuti oleh panggilan berkala ke **AIStreamRead** dan secepatnya suatu panggilan ke **AIStreamClear**.

AIStreamRead : menunggu untuk meneliti nomer khusus untuk menjadi tersedia dan dibaca. **AIStreamStart** akan meminta sebelum fungsi ini dan **AIStreamClear** akan memanggil ketika berakhir dengan Stream.

AsynchConfig : mengatur labjack U12 jalur D untuk sinkronisasi komunikasi.

Asynch : menulis kemudian membaca separuh data yang tidak bersama-sama pada 1 atau 2 pasang jalur D dasarnya komunikasi RS232.

BitsToVolt : mengkonversi 12 bit (0-4095) nilai biner kepada nilai tegangan labjack.

Volt : $((2 \times \text{Bits} \times V_{\text{max}}/4096) - V_{\text{max}})/\text{penguatan}$, dimana $V_{\text{max}} = 10$ untuk SE dan 20 untuk Diff.

VoltsToBits : mengkonversi tegangan ke 12 bit (0-4095) dalam penyajian biner.

$\text{Bits} = (4096 \times ((\text{Volt} \times \text{penguatan}) + V_{\text{max}})) / (2 \times V_{\text{max}})$.

Counter : mengendalikan dan membaca perhitungan yang tidak tepat maka penjagaan waktu dimungkinkan untuk aktif.

DigitalIO : membaca dan menulis seluruh 20 input output digital.

GetDriverVersion : mendapatkan kembali versi nomer dari ljackuw.

GetErrorString : mengkonversi kesalahan kode labjack yang dikembalikan ke fungsi lain dalam suatu keterangan nilai kesalahan.

GetFirmWareVersion : mendapatkan kembali firmware dalam versi labjack.

GetWinVersion : menggunakan fungsi windows API untuk mendapatkan fungsi operasi system.

ListAll : mencari USB untuk seluruh labjack dan mengembalikan serial number untuk masing-masing local ID.

NoThread : pembuatan rangkaian pengujian dengan menggunakan test point pada windows 98/ME.

PulseOut : membuat pulsa pada sedikit atau semua pada D0-D7.

PulseOutStart : memulai keluaran pulsa yang menyerupai keluaran tetapi tidak menunggu sampai selesai.

PulseOutFinish : menunggu untuk keluaran pulsa selesai dan memulai dengan pulse out start.

PulseOutCalc : menggunakan waktu perhitungan cycle untuk fungsi keluaran pulsa.

ReEnum : karena labjack mendeteksi secara elektrik dan mengikatkan kembali pada USB juga akan menyebutkan satu persatu local ID dan kalibrasi tetap di update pada waktu itu.

ResetOrResetLJ : karena labjack reset setelah sekitar 2 detik. Setelah mereset kembali labjack akan menyebutkan satu persatu kembali.

SHT 1X ; mendapatkan kembali pembacaan temperatur dari sensor SHT 1X.

SHTComm : fungsi umum low level untuk mengirimkan dan menerima sampai 4 byte ke atau dari sensor SHT 1X.

SHTCRC : memeriksa CRC pada suatu komunikasi SHT 1X.

Synch : melakukan komunikasi SPI dengan sinyal slave.

Watchdog : mengendalikan fungsi watchdog labjack. Ketika diaktifkan watchdog dapat diganti statusnya dengan digital input output jika labjack tidak berhasil berkomunikasi dengan personel computer dalam waktu periode yang ditetapkan. Fungsi ini dapat digunakan untuk mereboot mengikuti operasi system yang digunakan. 32 bit CNT penghitung dimungkinkan dihentikan ketika watchdog beroperasi.

ReadMem : membaca 4 byte dari alamat khusus dalam memori labjack yang tidak mudah berubah.

WriteMem : penulisan 4 byte ke labjack 8, 192 byte memori yang tidak mudah berubah pada alamat khusus, data adalah pembacaan kembali dan dapat ditambah setelah penulisan. Memori 0-511 adalah digunakan untuk kalibrasi data. Memori 512-1023 adalah tidak digunakan oleh labjack dan tersedia untuk pengguna (ini sesuai alamat dimulai dari 512-1020) memori 1024-4191 digunakan sebagai penyangga data dalam perangkat keras.

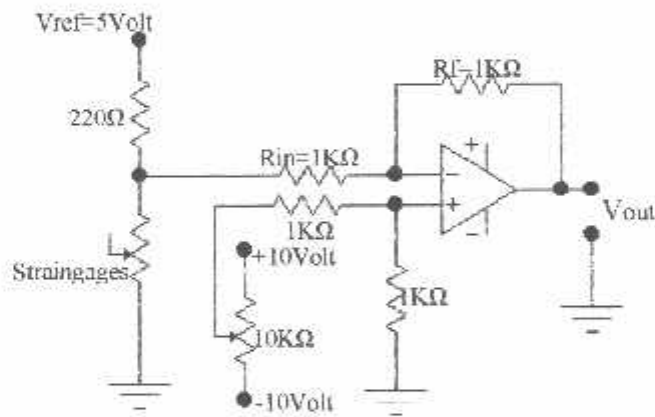
2.8. Labview

Labview merupakan suatu bahasa program yang digunakan untuk menganalisa dan suatu instrument yang fleksibel yang ditampilkan dengan program grafis dan dapat digunakan untuk keperluan analisis dan presentasi. Yang secara luas labview mengadopsi seluruh bidang industri, akademik, dan laboratorium. Di dalam program labview instrument perangkat lunak dapat digunakan untuk mengendalikan data. Dengan menggunakan bahasa program grafis ini dapat digunakan suatu metode diagram blok yang disusun kedalam kode mesin. Program ini juga dapat digunakan sebagai monitoring mutu daya listrik dan simulasi perencanaan peralatan.

BAB III PERANCANGAN ALAT

3.1. Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian untuk pengkondisi sinyal untuk mendeteksi dan mengukur output dari suatu sensor. Rangkaian pengkondisi sinyal ini dirancang khusus untuk mengoffset nilai dari suatu masukan yang diperoleh dari output pengukuran suatu sensor Yang tujuannya untuk memberikan nilai 0 pada awal pengukuran. Dikarenakan untuk kebutuhan data analisa dimana untuk perhitungan awal pengukuran harus dimulai dari nilai 0. Rangkaian pengkondisi sinyal ini seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 3.1
Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Digunakan harga $R_f = 1 \text{ K}\Omega$ dan $R_{in} = 1 \text{ K}\Omega$ dan $R_1 = 1 \text{ K}\Omega$ diseri dengan singleturn $10 \text{ K}\Omega$.

Besarnya tegangan offset harus setara dengan keadaan $V_{out} = 0 \text{ Volt}$ pada saat V_{out} strain gages = 2,03 Volt.

Maka untuk perhitungan tegangan offset adalah sebagai berikut:

- V_{output} pada strain gages dengan $V_{ref} = 5 \text{ Volt}$; $V_{out} = 2,03 \text{ Volt}$
- Karena 2,03 Volt setara dengan 0 Volt, maka output dari penguat IC LM 741 harus menunjukkan 0 Volt ($V_{out} = 0$).
- Jadi besarnya tegangan offset adalah :

$$V_{out} = V_{strain \text{ gages}} (R_f/R_i + 1) - V_{offset} (R_f/R_i)$$

$$0 = 2,03 (1\text{K}\Omega/1\text{K}\Omega + 1) - V_{offset} (1\text{K}\Omega/1\text{K}\Omega)$$

$$0 = 2,03 \times 2 - V_{offset} \times 1$$

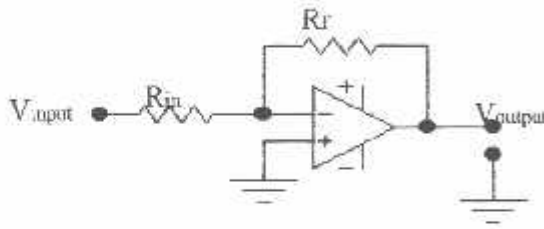
$$V_{offset} = 2,03 \times 2 / 1$$

$$= 4,06 \text{ Volt}$$

Untuk menghasilkan tegangan offset sebesar 4,06 Volt digunakan Op-Amp yang bekerja dengan penguatan non inverting disini digunakan Op-Amp LM 741 yang dipadukan dengan singleturn $10 \text{ K}\Omega$ dengan besar $R_f = 1\text{K}\Omega$ dan $R_i = 1\text{K}\Omega$ besar dari nilai tahanan tersebut akan menghasilkan penguatan sebesar 1 kali. Sehingga untuk pengesetan tegangan sebesar 4,06 Volt akan dipenuhi dari rangkaian tersebut dengan pengaturan $V_r = 10 \text{ K}\Omega$

3.2. Rangkaian Penguat Op-Amp

Untuk rangkaian penguat Op-Amp inverting amplifier sinyal input masuk ke terminal (-) Op-Amp-nya yang menyebabkan pembalikan polaritas sinyal input. Rangkaian ini merupakan sebuah penguat yang gain utaian tertutupnya dari V_{input} ke V_{output} ditentukan R_f dan R_{in} yang dapat memperkuat sinyal ac atau dc.



Gambar 3.2
Rangkaian Penguat Inverting

Digunakan $R_{in} = 10 \text{ k}\Omega$

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

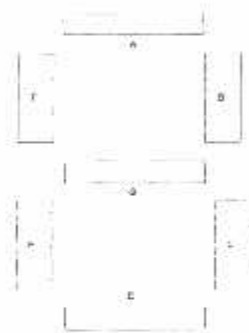
Untuk menghitung V_{output} digunakan persamaan:

$$V_{out} = - V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)}$$

Dengan menggunakan rangkaian penguat inverting seperti gambar 3, akan diperoleh penguatan sebesar 10 kali dan sinyal output akan di kuatkan kembali dengan rangkaian penguat inverting dengan penguatan sebesar 20 kali sehingga nilai output penguatan akan bernilai 0 – 1 Volt.

3.3. Display Seven Segment

Display seven segment digunakan untuk memperagakan karakter desimal 0 – 9, setiap segment terbuat dari material yang memancarkan cahaya apabila dilewati arus. Material yang paling umum digunakan adalah Light Emitting Dioda (LED). Gambar dibawah ini menunjukkan pola-pola segment yang digunakan untuk memperagakan berbagai macam digit.



Gambar 3.3.
Susunan Seven Segment

Indikator LED seven Segment mengambil jumlah arus yang relatif besar, umumnya antara 10 mA sampai 40 mA persegment, yang membuat penggunaannya terbatas pada peralatan-peralatan yang dioperasikan dengan Battery.

3.4. Interface ke Personal Computer

3.4.1. Pengertian Interfacing

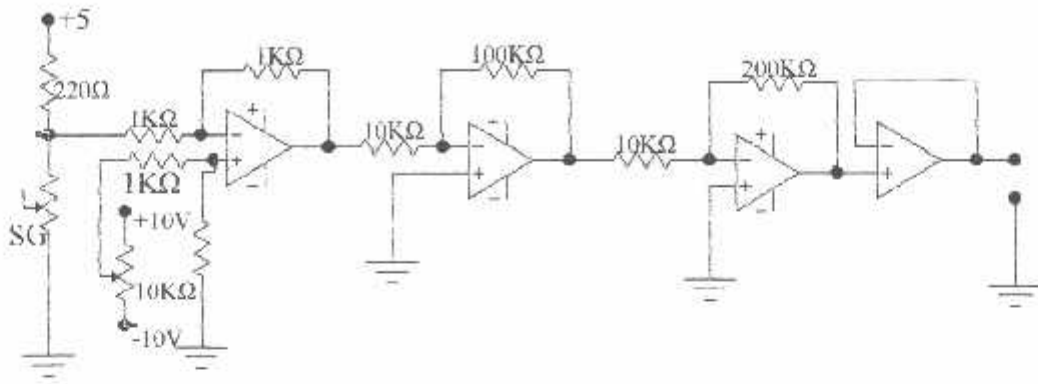
Interfacing disebut juga dengan antar muka, antar muka adalah suatu titik sambung antara dua alat yang tidak sama yang dapat menggunakan perangkat karakter yang berbeda bahkan dengan cara pengiriman yang berbeda. Perubahan ini biasanya dilakukan melalui metode perangkat keras dan menggunakan prosedur yang sama dengan protocol yang juga membentuk bagian definisi antar muka.

Disisi lain, protokol merupakan seperangkat aturan (biasanya diwujudkan dalam perangkat lunak) yang mengatur antara mesin atau proses serupa dan memiliki fungsi yang sama meskipun antar muka memerlukan protocol agar dapat bekerja dengan benar. Perbedaan mendasar antara keduanya adalah antar muka lebih mementingkan factor operasional local dimana protocol sibuk sendiri dengan interaksi jarak jauh yaitu antara system basis jarak jauh.

3.4.2. Teknik Interfacing

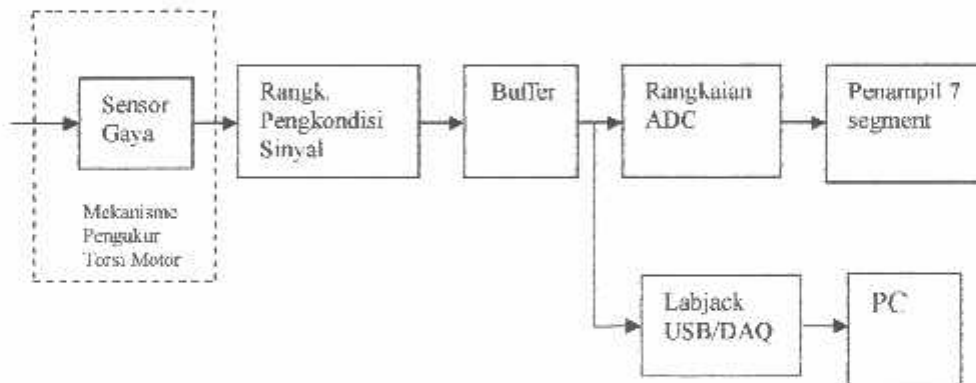
Jika hendak menghubungkan piranti seperti card, motor listrik dan lainnya maka dibutuhkann rangkaian tambahan yang disebut dengan interfacing atau antar muka. Rangkaian ini berfungsi untuk menyesuaikan piranti peripheral dengan computer digunakan Labjack U12

Diagram rangkaian keseluruhan dari proses pengkondisi sinyal dengan rangkaian penguat dan penyangga dapat dilihat pada gambar rangkaian di bawah ini.



Gambar 3.4
Rangkaian Strain Gages dan Penguatan

3.5. Diagram Blok Alat Pengukur Torsi Motor Induksi 3 Fasa Dengan PC



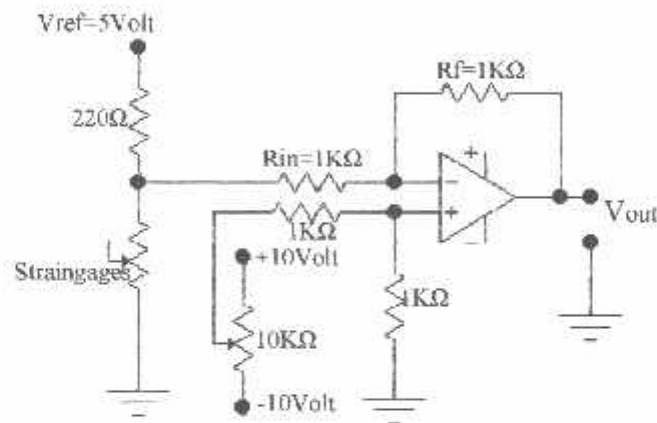
Gambar 3.5
Diagram Blok Alat Pengukur Torsi

BAB IV

Pengujian Dan Analisa Data

4.1. Analisa Pengujian Strain Gages

Untuk rangkaian pengesetan offset nol digunakan rangkaian seperti di bawah ini:



Gambar 4.1
Rangkaian Offset Null

Dari pengujian strain gages didapatkan data sebagai berikut:

Pada saat strain gages sebelum mengalami peregangan R strain gages = 120Ω

Dan $V_{out} = 2,03$ Volt dengan V referensi 5 Volt.

Untuk menghitung ΔV digunakan persamaan:

$$\Delta V = V_{out} \text{ setelah regangan} - V_{out} \text{ sebelum regangan}$$

Untuk V_{out} sebelum regangan = 2,03 Volt

$$V_{out} \text{ sesudah regangan} = 2,031 \text{ Volt}$$

$$\Delta V = 2,031 \text{ V} - 2,03 \text{ V}$$

$$= 0,001 \text{ Volt}$$

Untuk V_{out} sebelum regangan = 2,03 Volt

V_{out} sesudah regangan = 2,032 Volt

$$\Delta V_2 = 2,032 \text{ V} - 2,03 \text{ V}$$

$$= 0,002 \text{ Volt}$$

Untuk V_{out} sebelum regangan = 2,03 Volt

V_{out} sesudah regangan = 2,033 Volt

$$\Delta V_3 = 2,033 \text{ V} - 2,03 \text{ V}$$

$$= 0,003 \text{ Volt}$$

Untuk V_{out} sebelum regangan = 2,03 Volt

V_{out} sesudah regangan = 2,034 Volt

$$\Delta V_4 = 2,034 \text{ V} - 2,03 \text{ V}$$

$$= 0,004 \text{ Volt}$$

Untuk V_{out} sebelum regangan = 2,03 Volt

V_{out} sesudah regangan = 2,035 Volt

$$\Delta V_2 = 2,035 \text{ V} - 2,03 \text{ V}$$

$$= 0,005 \text{ Volt}$$

Tabel 4.1
Hasil Perhitungan ΔV Strain Gages

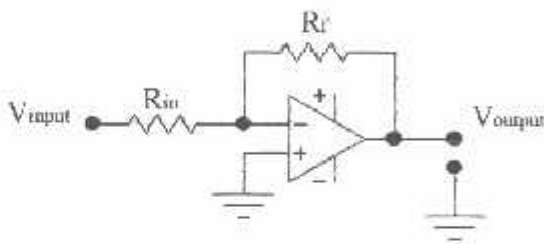
No	resistansi strain gages sebelum regangan R (Ω)	resistansi strain gages sesudah regangan R (Ω)	V_{out} (Volt)	ΔV (Volt)
1.	120	122	2,031	0,001
2.	120	124	2,032	0,002
3.	120	126	2,033	0,003

4.	120	128	2.034	0.004
5.	120	130	2.035	0.005

4.2. Analisa Perhitungan Rangkaian Penguat Op-Amp

4.2.1. Analisa Perhitungan Rangkaian Penguat Op-Amp 1

Untuk penguat Op-Amp dengan rangkaian



Gambar 4.2
Rangkaian Penguat Inverting 1

Untuk menghitung V_{output} digunakan persamaan:

$$V_{out} = -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)}$$

$$\Delta V = \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)}$$

Digunakan $R_{in} = 10 \text{ k}\Omega$

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

➤ Untuk $V_{input} = 0 \text{ Volt}$

$$V_{out} = -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)}$$

$$= 0 \text{ Volt} \times \frac{100 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega}$$

$$= 0 \times 10 = 0 \text{ Volt}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)} \\ &= \frac{0}{0} = 0 \text{ kali} \end{aligned}$$

➤ Untuk $V_{input} = 0,001 \text{ Volt}$

$$\begin{aligned} V_{out} &= -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)} \\ &= -0,001 \text{ Volt} \times \frac{100K\Omega}{10K\Omega} \\ &= -0,001 \times 10 = -0,01 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)} \\ &= \frac{-0,01}{-0,001} = 10 \text{ kali} \end{aligned}$$

➤ Untuk $V_{input} = 0,002 \text{ Volt}$

$$\begin{aligned} V_{out} &= -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)} \\ &= -0,002 \text{ Volt} \times \frac{100K\Omega}{10K\Omega} \\ &= -0,002 \times 10 = -0,02 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)} \\ &= \frac{-0,02}{-0,002} = 10 \text{ kali} \end{aligned}$$

➤ Untuk $V_{input} = 0,003 \text{ Volt}$

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)} \\
 &= -0,003 \text{ Volt} \times \frac{100K\Omega}{10K\Omega} \\
 &= -0,003 \times 10 = -0,03 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V &= \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)} \\
 &= \frac{-0,03}{-0,003} = 10 \text{ kali}
 \end{aligned}$$

➤ Untuk $V_{input} = 0,004 \text{ Volt}$

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)} \\
 &= -0,004 \text{ Volt} \times \frac{100K\Omega}{10K\Omega} \\
 &= -0,004 \times 10 = -0,04 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V &= \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)} \\
 &= \frac{-0,04}{-0,004} = 10 \text{ kali}
 \end{aligned}$$

➤ Untuk $V_{input} = 0,005 \text{ Volt}$

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)} \\
 &= -0,005 \text{ Volt} \times \frac{100K\Omega}{10K\Omega} \\
 &= -0,005 \times 10 = -0,05 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\Delta V = \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)}$$

$$= \frac{-0,05}{-0,005} = 10 \text{ kali}$$

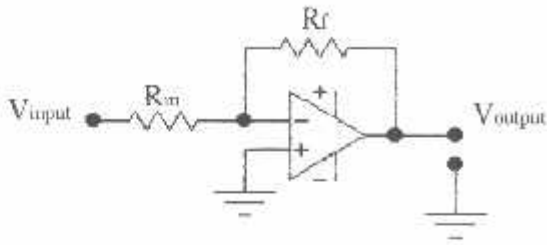
Tabel 4.2
Hasil Pengukuran dan Perhitungan Rangkaian Penguat Op-Amp 1

No	V _{input} (Volt)	R _{input} (kΩ)	R _f (kΩ)	V _{out} Pengukuran (Volt)	V _{out} Perhitungan (Volt)	AV (kali)
1	0	10	100	0,000	0	0
2	0,001	10	100	-0,012	-0,01	10
3	0,002	10	100	-0,021	-0,02	10
4	0,003	10	100	-0,033	-0,03	10
5	0,004	10	100	-0,042	-0,04	10
6	0,005	10	100	-0,051	-0,05	10

4.2.2. Analisa Perhitungan Rangkaian Penguat Op-Amp 2

Output rangkaian Op-Amp 1 dikuatkan dengan rangkaian penguat Op-Amp 2

Untuk penguat Op-Amp 2 dengan rangkaian:



Gambar 4.3
Rangkaian Penguat Inverting 2

Untuk menghitung V_{out} digunakan persamaan:

$$V_{out} = - V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)}$$

$$\Delta V = \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)}$$

Digunakan $R_{in} = 10 \text{ k}\Omega$

$$R_f = 200 \text{ k}\Omega$$

➤ Untuk $V_{input} = 0 \text{ Volt}$

$$V_{out} = - V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)}$$

$$= 0 \text{ Volt} \times \frac{200 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega}$$

$$= 0 \times 20 = 0 \text{ Volt}$$

$$\Delta V = \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)}$$

$$= \frac{0}{0} = 0 \text{ kali}$$

➤ Untuk $V_{input} = -0,01 \text{ Volt}$

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)} \\
 &= -(-0,01 \text{ Volt}) \times \frac{200K\Omega}{10K\Omega} \\
 &= 0,01 \times 20 = 0,2 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V &= \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)} \\
 &= \frac{0,2}{0,01} = 20 \text{ kali}
 \end{aligned}$$

➤ Untuk $V_{input} = -0,02 \text{ Volt}$

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)} \\
 &= -(-0,02 \text{ Volt}) \times \frac{200K\Omega}{10K\Omega} \\
 &= 0,02 \times 20 = 0,4 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V &= \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)} \\
 &= \frac{0,4}{0,02} = 20 \text{ kali}
 \end{aligned}$$

➤ Untuk $V_{input} = -0,03 \text{ Volt}$

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)} \\
 &= -(-0,03 \text{ Volt}) \times \frac{200K\Omega}{10K\Omega} \\
 &= 0,03 \times 20 = 0,6 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\Delta V = \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)}$$

$$= \frac{0,6}{0,03} = 20 \text{ kali}$$

➤ Untuk $V_{input} = -0,04$ Volt

$$\begin{aligned} V_{out} &= -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)} \\ &= -(-0,04 \text{ Volt}) \times \frac{200K\Omega}{10K\Omega} \\ &= 0,04 \times 20 = 0,8 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)} \\ &= \frac{0,8}{0,04} = 20 \text{ kali} \end{aligned}$$

➤ Untuk $V_{input} = -0,05$ Volt

$$\begin{aligned} V_{out} &= -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}} \text{ (Volt)} \\ &= -(-0,05 \text{ Volt}) \times \frac{200K\Omega}{10K\Omega} \\ &= 0,05 \times 20 = 1 \text{ Volt} \end{aligned}$$

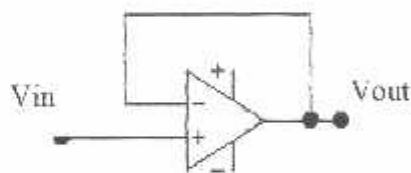
$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ (kali)} \\ &= \frac{1}{0,05} = 20 \text{ kali} \end{aligned}$$

Tabel 4.3
 Hasil Pengukuran dan Perhitungan Rangkaian Penguat Op-Amp 2

No	V _{input} (Volt)	R _{input} (kΩ)	R _f (kΩ)	V _{out} Pengukuran (Volt)	V _{out} Perhitungan (Volt)	AV (kali)
1	0	10	200	0,00	0	0
2	-0,01	10	200	0,18	0,2	20
3	-0,02	10	200	0,42	0,4	20
4	-0,03	10	200	0,61	0,6	20
5	-0,04	10	200	0,78	0,8	20
6	-0,05	10	200	0,99	1	20

4.3. Analisa perhitungan Rangkaian Buffer

Kemudian V_{out} dari rangkaian penguat Op-Amp 2 masuk ke rangkaian buffer (penyangga).



Gambar 4.4
 Rangkaian Buffer

Perhitungan untuk V_{output} rangkaian buffer (penyangga) :

$$V_{in} = V_{out}$$

Tabel 4.4
Hasil Perhitungan Rangkaian Buffer

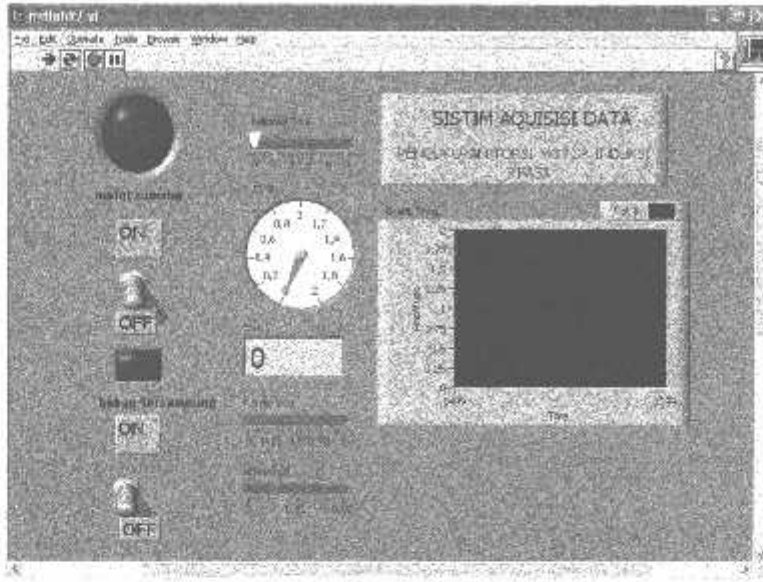
No	V_{in}	V_{out}
1	0,2	0,2
2	0,4	0,4
3	0,6	0,6
4	0,8	0,8
5	1	1

Untuk pengukuran torsi motor induksi digunakan :

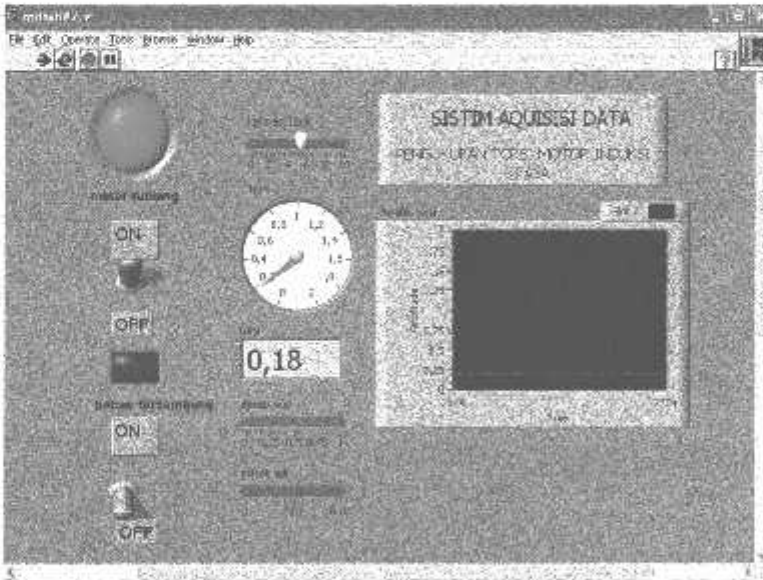
Motor induksi 3 phasa	: DL 1021
Voltage	: 220/380 V
Arus	: $\Delta/Y = 4,3/2,5$ A
Daya	: 1,1 KW
Putaran	: 2820 rpm
Cos ϕ	: 0,83
Frekwensi	: 50 Hz

Generator DC	: DL 1025
Voltage	: 220 V
Arus	: 3,4 A
Daya	: 0,75 KW
Putaran	: 2850 rpm
V excitasi	: 190 V
Arus excitasi	: 0,24 A

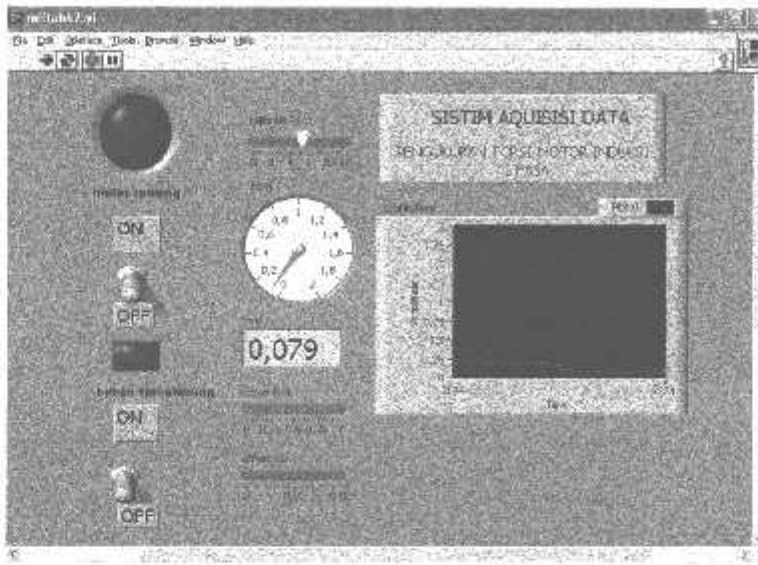
Tampilan program pengukuran torsi motor induksi pada saat motor induksi sebelum di jalankan



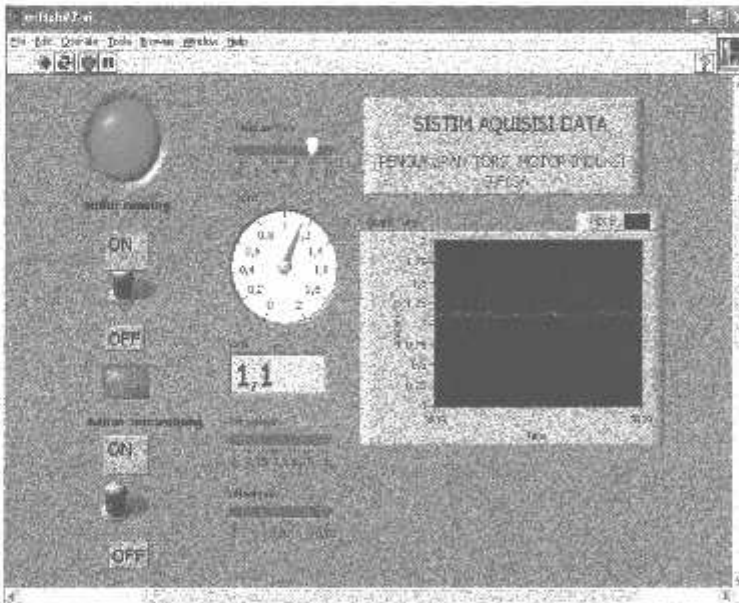
Tampilan program pengukuran torsi motor induksi pada saat motor induksi di jalankan tanpa beban



Tampilan program pengukuran torsi motor induksi pada saat motor induksi di hentikan tanpa beban



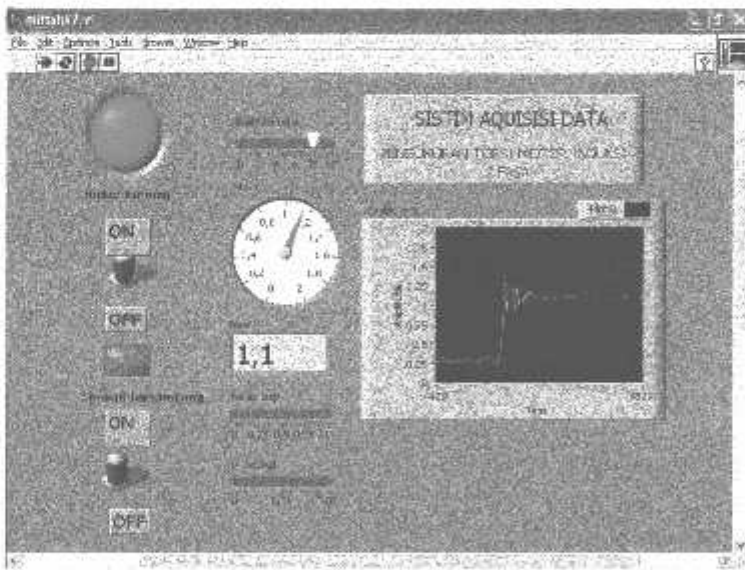
Tampilan program pengukuran torsi motor induksi dengan memberikan tegangan excitasi pada generator DC sebesar 100 Volt dan beban lampu pijar 300 VA



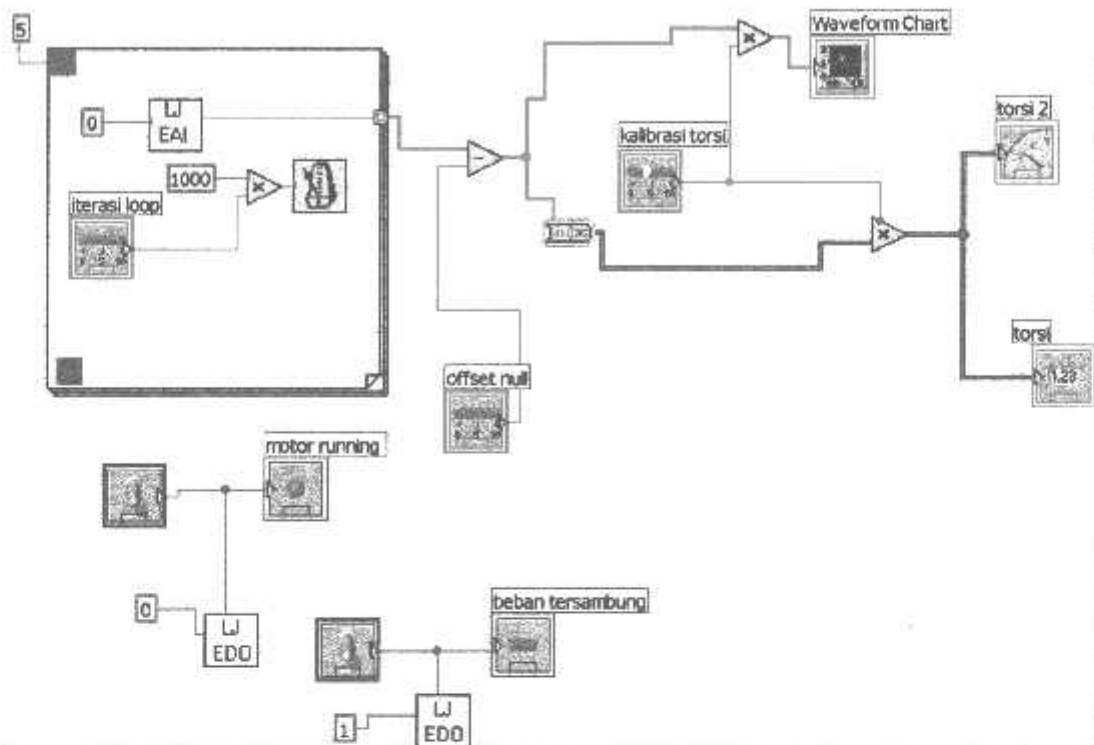
Tampilan program pengukuran torsi motor induksi pada saat motor induksi dihentikan kondisi berbeban



Tampilan program pengukuran torsi motor induksi pada saat motor induksi dijalankan dan generator DC diberi tegangan excitasi 100 V dan beban lampu pijar di ON kan akan terlihat gelombang transient akibat adanya beban yang masuk



Tampilan diagram blok pemrograman pengukuran torsi motor induksi



4.3. Analisa Perhitungan Error Pengukuran Alat Pengukur Torsi Motor Induksi

Dari hasil pengujian alat pengukur torsi motor induksi di dapatkan hasil pengukuran

N0	V excitasi (Volt)	Beban Lampu (VA)	Pembacaan Torsi pada Seven Segment (Nm)	Pembacaan Torsi pada PC (Nm)
1	25	300	0,32	0,318
2	50	300	0,64	0,639
3	75	300	0,91	0,907
4	100	300	1,09	1,089
5	125	300	1,21	1,208
6	150	300	1,30	1,298

Analisa perhitungan error pembacaan pengukuran adalah selisih pembacaan antara tampilan seven segment dengan tampilan PC

$$\text{Error} = \frac{\sum \text{selisih pengukuran}}{\sum \text{pengukuran}}$$

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{0,011}{6} \\ &= 0,0018 \end{aligned}$$

Dari hasil pengukuran di dapatkan selisih hasil pembacaan alat ukur antara tampilan seven segment dengan tampilan pada personal komputer 0.0018

BAB V

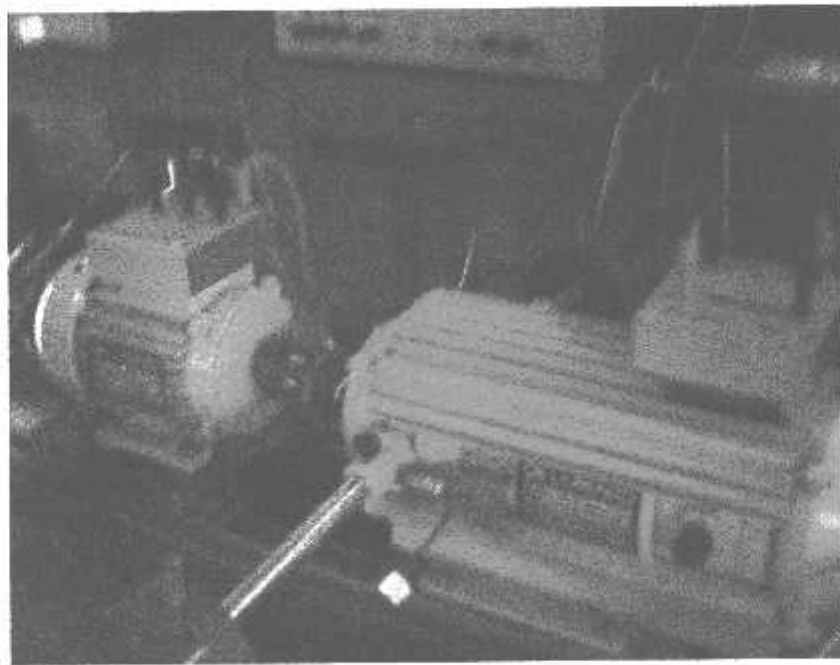
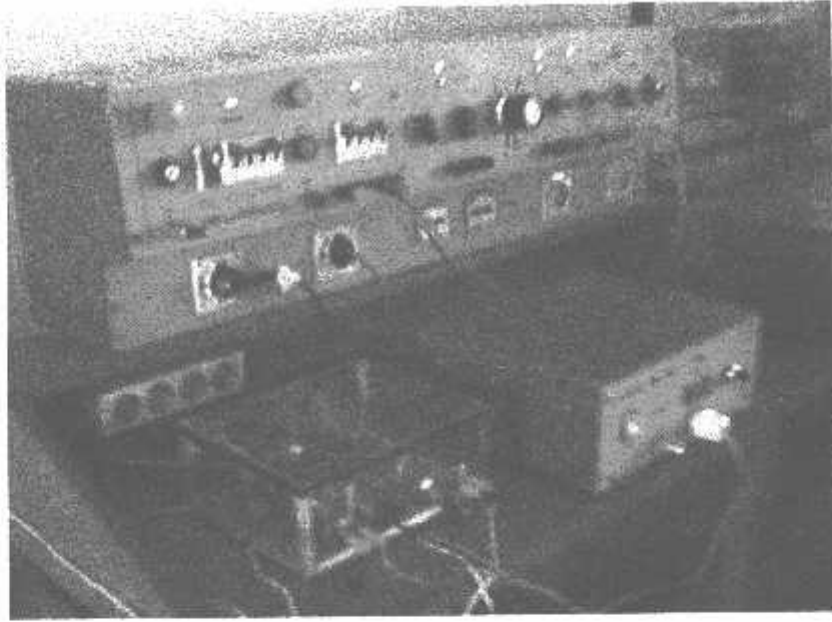
PENUTUP

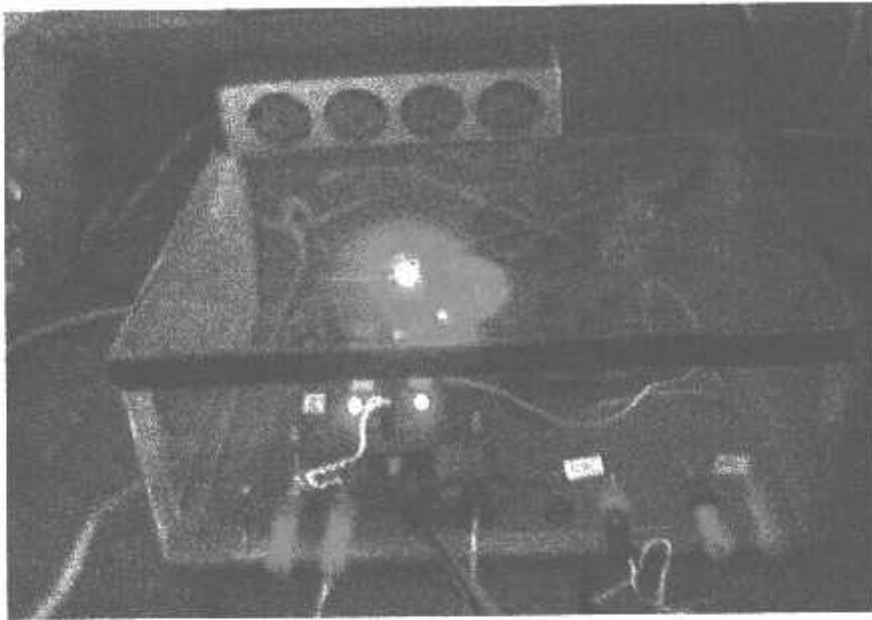
5.1.KESIMPULAN

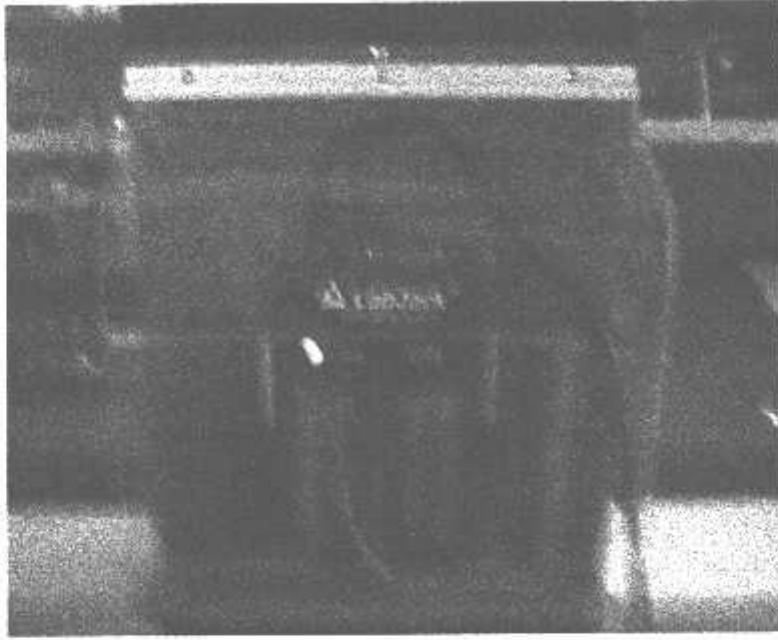
1. Penggunaan strain gages sebagai pengukur torsi motor induksi dapat dilakukan, tampilan data secara digital dan dapat ditampilkan pada PC.
 2. Proses kalibrasi dapat dilaksanakan ketika proses sedang berlangsung sehingga tidak mengganggu jalannya proses (program sedang dijalankan).
 3. Labview sebagai program yang berbasis grafis dapat digunakan sebagai software untuk pengendalian motor induksi.
 4. Dengan penggunaan modul DAQ, interface ke PC dapat dilakukan dengan mudah.
 5. Dengan menggunakan software labview dan modul DAQ analisa transient dapat dilakukan.
 6. Nilai error pembacaan alat pengukur torsi motor induksi menggunakan personal komputer sebesar 0,0018
-

DAFTAR PUSTAKA

1. R.F. Lambert, **Electromecanical Energy Conversion**, International Texbooks In Electrical Engineering, Second Printing, 1965
 2. S.A. Nasar And L.E.Unnewehr, **Electromechanics and Electric Machines**, United States of America, 1979.
 3. A.E. Fitzgerald and Charles Kingsley, Jr., **Electric Machinery**, Second Edition, International Student Edition, New York Toronto London.
 4. Djoko Achyanto Msc.,FE, **Mesin-Mesin Listrik**, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
 5. Willis J.Tomskin.**Interfacing Sensor To The IBM PC**.Prentice Hall PTR.1998.
 6. Johnson, D. **Operational Amplifier Cicuit Design and Aplication**, Prentice-Hall inc. 1982.
 7. **Labjack U12 User guide 1**, USA, 2003
-









FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Desye Miftakhul Ikhwan
Nim : 01.12.178/P
Masa bimbingan : 20 Agustus 2004 s/d 20 Februari 2005
Judul Skripsi : STUDI APLIKASI "STRAIN GAGES" SEBAGAI PENGUKUR TORSI MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN PERSONAL COMPUTER

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	7/1 '05	Konsultasi Materi dasar	
2.	15/1 '05	Konsultasi Bab I	
3.	20/1 '05	Konsultasi Bab II + III	
4.	31/1 '05	Revisi Bab II	
5.	19/2 '05	Revisi Bab III	
6.	21/2 '05	ACC Bab II	
7.	3/3 '05	ACC Bab IV	
8.	12/3 '05	Revisi Bab IV + V	
9.	18/3 '05	ACC Bab IV + V	
10.	19/3 '05	All Seminan	

Malang, 2004

Dosen Pembimbing

Ir Widodo Pudji M.,MT

Form.S-4b



BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI

1. Nama : Desye Miftakhul Ikhwan
2. Nim : 01.12.178/P
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Program Studi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi :

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGUKUR TORSI MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN PC

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :
Hari : Kamis
Tanggal : 31 Maret 2005
Dengan Nilai : 76,00 (Tujuh Puluh Enam Koma Nol) *grr*

Panitia Ujian Skripsi



(Ir. Mochtar Asroni, MSME)
Ketua

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
Sekretaris

Anggota penguji

(Ir. Taufik Hidayat, MT)
Penguji Pertama

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)
Penguji Kedua



Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Desye. M. Taufik Ikhsan
NIM : 0112101/P
Perbaikan meliputi :

- Kesimpulan berupa angka? rumus, Error nya berapa?
- judul, disesuaikan dg pembahasannya.
- Abstraknya ditambahkan.

Malang,

200

Taufik
(Taufik A, M.)



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang Strata Satu (S-1)
yang diselenggarakan pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 31 Maret 2005

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Desye Miftakhul Ikhwan
2. NIM : 01.12.178 / P
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Program Studi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : **PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT
PENGUKUR TORSI MOTOR INDUKSI 3 FASA
MENGUNAKAN PERSONAL COMPUTER**

Perbaikan meliputi

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	Judul disesuaikan dengan pembahasan	
2.	Kesimpulan berupa angka-angka misal errornya berapa?	
3.	Analisisnya ditambahkan	

Disetujui / Diperiksa

Penguji I

Penguji II

(Ir. Taufik Hidayat, MT)

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)

Mengetahui
Dosen Pembimbing

(Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT)



LEMBAR PERUBAHAN JUDUL SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang Strata Satu (S-1)
yang diselenggarakan pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 31 Maret 2005

Judul Skripsi yang diujikan :

**STUDI APLIKASI "STRAIN GAGES" SEBAGAI PENGUKUR TORSI
MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN PC**

Dilakukan perubahan judul skripsi menjadi :

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGUKUR TORSI
MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN PC**

Disetujui / Diperiksa

Penguji I

Penguji II

(Ir. Taufik Hidayat, MT)

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)

Mengetahui
Dosen Pembimbing

(Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT)
